

جمهورية مصر العربية
وزارة الموارد المائية والرى
المركز القومى لبحوث المياه

الكود المصرى
للموارد المائية وأعمال الرى

المجلد السابع

تقنيات حماية الشواطئ البحرية

اللجنة الدائمة

لإعداد الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

الطبعة الأولى
عام ٢٠٠٣

تقديم

لما كان الماء هو عصب الحياة وركيزة تقدم الشعوب وأنه ندرة فى منطقتنا العربية ويتزايد الطلـــب عليه يوماً بعد يوم فقد وجب علينا أن نرفع دوماً من كفاءة إدارته لنعظم عوائده ونحد من فواقده.

لذلك رأت وزارة الموارد المائية والرى إعداد هذا الكود ليكون دستوراً للعمل ودليلاً يهتدى به ويحتكم إليه. ولقد راعت الوزارة فى إعداده أن يضم نظماً موحدة لإدارة شبكات الـــرى والصـــرف وتنفيـذ مشروعاتها، وأن يكون شاملاً لأعمال حماية وتنمية السواحل البحرية، وأن يتضمن تحديداً لأســاليب الإختبار والمعايير القياسية الخاصة بتصميم وتنفيذ الأعمال وإختبار مواد الإنشاء فضلاً عن تضمينــه ضوابط لأحكام الرقابة على كافة الأعمال الإنشائية، وعلى أعمال إدارة شـــبكات الـــرى والصـــرف، والأعمال الميكانيكية والكهربية، وأعمال حماية الشواطئ، وفى نفس الوقت يشكل مرجعاً يحتكم إليـــه فى حسم أى خلافات قد تنشأ بين أجهزة الوزارة والمتعاملين معها من وزارات وهيئات وأفـــراد. وأن يكون عاملا للحد من الأخطار حماية للمجتمع وللعاملين فى هذا المجال.

وقد شارك فى إعداد هذا الكود نحو ثمانين متخصصاً من الأساتذة وكبار المهندسين من ذوى الخبرات الطويلة المشهود لهم فى مجال أعمال الوزارة سواء من داخلها أو من الجامعات المصرية المختلفـة. ولقد تحرينا قبل إصدار هذا الكود أقصى درجات التدقيق كما تم طرحه على مجتمع مستخدمى الميـــاه وعلى مختلف القطاعات العاملة فى المجالات ذات الصلة بموضوعاته طلباً لمشورتهم ومقترحاتهم فى مضمونه، وتم الإسترشاد بما تلقيناه منهم جميعاً من مقترحات بناءة ومفيدة.

ونأمل أن يساهم هذا الكود فى رفع مستوى الأداء لتعظيم الفائدة من مواردنا المائية.

والله نسأل أن يلهمنا جميعاً سواء السبيل وأن يرشدنا لما فيه الخير لأمتنا ولوطننا العزيز.

وبالله التوفيق.

وزير الموارد المائية والرى

أستاذ دكتور مهندس / محمود عبدالحليم أبو زيد

بسم الله الرحمن الرحيم



قرار وزاري
رقم (٣٥٠) لسنة ٢٠٠٣
في شأن
وضع أسس التصميم وشروط
التنفيذ بالنسبة لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف

وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية

- بعد الاطلاع على القانون رقم (٦) لسنة ١٩٦٤ بشأن أسس تصميم وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء .
- وعلي القرار الوزاري رقم ١٤٨ لسنة ١٩٩١ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بخصوص تشكيل اللجنة العليا للتنسيق بشأن إعداد الكود المصري في مجال أنشطة وزارة الأشغال العامة والموارد المائية .
- وعلي القرار الوزاري رقم ٢٨٥ لسنة ١٩٩١ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بشأن تشكيل اللجان الفرعية المختصة بإعداد بنود الكود المصري لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف .
- وعلي القرار الوزاري رقم ٣١٧ لسنة ١٩٩٣ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بشأن تشكيل اللجنة الفرعية التخصصية لأعداد بنود الكود المصري في مجال حماية الشواطئ .
- وعلي القرار الوزاري ي رقم ٢٣٨ لسنة ١٩٩٤ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية المتضمن تشكيل اللجنة الدائمة للكود المصري لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف .
- وعلي كتاب السيد الدكتور وزير الموارد المائية والري .

بسم الله الرحمن الرحيم



جمهورية مصر العربية
وزارة
الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية
مكتب الوزير
الرقم البريدي: ١١٥١٦

قـــــــرار

مادة (١): يـتم العمـل بأسـس تصـميم وشـروط تنفـيذ جمـيع أعمـال المـوارد المائـية ومتطلبات الرى والصرف والمرفقه بهذا القرار.

مادة (٢): تلتـزم الجهات المعنـيه والمذكورة فى القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ بتنفيذ ماجاء بهذا القرار.

مادة (٣): تـتولى اللجنة الدائمـة المشكلة لهذا الغرض بوزارة الموارد المائية والرى إقتراح الـتعديلات التـى تـراها لازمـة بهـدف الـتحديث كلمـا دعـت الحاجـة لـذلك .. وتعتبر التعديلات بعد إصدارها جزءاً لايتجزأ منه.

مادة (٤): تـتولى وزارة المـوارد المائـية والـرى نشـر ماجـاء بهـذه الأسـس والتعـريف بهـا والتدريب عليها.

مادة (٥): ينشر هذا القرار فى الوقائع المصرية ويعتبر نافذاًمن تاريخ النشر.

وزير الإسكان والمرافق
والمجتمعات العمرانية

(م/ محمد إبراهيم سليمان)

صدر فى ٢/١٢/٢٠٠٣

شكر وعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

"وقالوا الحمد لله الذى هدانا لهذا وما كنا لنهتدى لولا أن هدانا الله ".

صدق الله العظيم

بإتمام هذا العمل الكبير الذى بدأته نخبة متميزة من العلماء الأجلاء ومن كبار مهندسى الرى المصرى منذ ما يــربو على العشر سنوات تواكبت فيها جهودهم الخالصة مع فكرهم الخلاق وفى إطار من التفانى والمثابرة والتصــميم ليضــعوا الأسس والمعايير للأجيال القادمة لتنظيم ولضبط ولترشيد إستخدام المياه ... تكون هذه النخــبة قد خطت بمصرنا إلى عهد جديد يتسم بتأصيل المعرفة فى التعامل مع أهم مورد فى الحياه حبانا به الله . فلهم كل الشكر والثناء على ما قدموه لوطنهم من عطاء ، والله على حسن مثوبتهم لقدير .

وبمــا أن الفضل يجب أن يرد إلى صانعيه .. فيتوجب علينا أن نذكر بكل العرفان والتقدير كل من آزروا هذا العمــل وهــيأوا له سبل الإنجاز . فما كان لهذا العمل أن يبدأ دون إشارة البدء التى أطلقها السيد المهندس الكبــير الوزيــر/ عصام عبدالحميد راضى الذى سارع بالإستجابة وبتوفير كافة الإمكانات له وبذلك إستحق وبكــل الحــق فضــل ريادة هذا العمل .. كذلك كان للزميل العزيز الأستاذ الدكتور الوزير / محمد عبدالهادى راضــى طيــب الله ثــراه مآثــره ، فلقد كان لجهده وفكره الثاقب أعظم الأثر فى التخطيط البناء له وذلك عــندما شــغل عضوية أول تشكيل للجنة تنسيق الكود كما كان لرعايته الدائمة له عندما تقلد منصب رئاسة وزارة الأشــغال العامة والموارد المائية أبعد الأثر لدفع العمل لأعلى المستويات ... وأخيراً وليس آخراً لا بد أن ننوه بالدعم الكبير الذى قدمه ويقدمه الأستاذ الدكتور الوزير/ محمود عبدالحليم أبو زيد الذى قيد الله أن يتم فضله وأن تتم الطبعة الأولى لكود الموارد المائية وأعمال الرى بحسن توجيهه وبفضل إرشاده .

وقل إعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون .

"ربنا لا تزغ قلوبنا بعد إذ هديتنا" "ربنا هيئ لنا من أمرنا رشدا"

يونيو ٢٠٠٣

مقرر لجنة تنسيق

الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

أ.د/ أحمد عبدالوهاب خفاجى

أسماء السادة المشاركين فى إعداد
الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

أعد هذا الكود بمعرفة اللجان التالية:

أولاً: اللجنة الدائمة للكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

ثانياً: لجنة تنسيق الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

ثالثاً: اللجان التخصصية وهى:

١. لجنة إدارة شبكات الرى والصرف
٢. لجنة المنشآت المدنية للرى والصرف
٣. لجنة الأعمال الميكانيكية والكهربائية للرى والصرف
٤. لجنة تقنيات حماية الشواطئ البحرية

** وقد تشكلت اللجنة الدائمة برئاسة السيد الدكتور الوزير واشترك فى عضويتها منذ بدء تشكيلها للمرة الأولى وحتى تشكيلها الحالى - السادة الأتية أسماؤهم طبقا للترتيب الأبجدى وهم:

أ.د/ أحمد عبد الوهاب خفاجى	مقرراً
أ.د/ أحمد فخرى خطاب	
م/ احمد جابر بركات	
م/ أنور محمد حجازى	
م/ حسين سعيد علوان	
أ.د/ سعد ابراهيم الخوالقة	
أ.د/ شارل شكرى سكلا	
أ.د/ طلعت محمد عويس	
أ.د/ عبد الرحمن صادق بازرعة	
أ.د/ عبد الرحمن حلمى الرملى	مقرراً
م/ عبد الغنى حسن السيد	
أ.د/ محمد بهاء الدين أحمد	
أ.د/ محمد فائق عبد ربه	
أ.د/ محمد مصطفى عطعوط	
م/ محمود سعد الدين الجندى	
أ.د/ مصطفى توفيق جاويش	
م/ مصطفى محمود القاضى	
أ.د/ منى مصطفى القاضى	
م/ نبيل فوزى ناشد	
أ.د/ نزيه أسعد يونان	

** شغل عضوية لجنة التنسيق منذ بدء تكوينها وحتى تشكيلها الحالى كل من السادة الآتية أسماؤهم طبقا للترتيب الأبجدى:

أ.د/ أحمد عبد الوهاب خفاجى	مقرراً
أ.د/ أحمد فخرى خطاب	
أ.د/ عبد المعطى حسن هيكل	
أ.د/ محمد رفيق عبد البارى	
أ.د/ محمد عبد الهادى راضى	
أ.د/ مصطفى توفيق جاويش	
د.م/ محمد إسماعيل أبو خشبة	(أمانة فنية)
د.م/ ياسر عبد العزيز الحاكم	(أمانة فنية)

أسماء السادة المشاركين فى إعداد المجلد السابع

** ساهم فى إعداد المادة العلمية لهذا المجلد وحققها وراجعها وصاغها كل من السادة الآتية أسماؤهم – طبقاً للترتيب الأبجدى:

أ.د/ أحمد عبد الوهاب خفاجى مقرراً

أ.د/ ألفى مرقص فانوس

د/ حسين كامل مصطفى أحمد

د/ عبد الحميد يوسف سليمان

أ.د/ فاروق مصطفى عبد العال

د/ محمد السيد الغمرى

د/ نبيل عبد المنعم هلالى

الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

يقع الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى فى سبعة مجلدات هى على النحو التالى:

المجلد الأول : إدارة شبكات الرى والصرف (الجزء الأول) ويشمل:

مقدمة : تقديم لمرفق الرى و الصرف، وأجهزة الوزارة، ومسئولياتها
الباب الأول : رى الأراضي الزراعية
الباب الثانى : صرف الأراضى الزراعية

المجلد الثانى : إدارة شبكات الرى والصرف (الجزء الثانى) ويشمل:

الباب الثالث : التوسع الأفقى
الباب الرابع : تنمية الموارد المائية
الباب الخامس : أعمال الصيانة
الباب السادس : إدارة هيدرولوجيا السيول
الباب السابع : الأعمال المساحية

المجلد الثالث : المنشآت المدنية للرى والصرف (الجزء الأول) ويشمل:

الباب الأول : شبكات الرى المبطنة
الباب الثانى : المنشآت المائية المتقاطعة
الباب الثالث : المفيضات والمصبات
الباب الرابع : الهدارات
الباب الخامس : القناطر والبوابات
الباب السادس : السدود
الباب السابع : الأهوسة الملاحية
الباب الثامن : محطات توليد القوى الكهرومائية

المجلد الرابع : المنشآت المدنية للرى والصرف (الجزء الثانى) ويشمل :

الباب التاسع : محطات الطلمبات
الباب العاشر : الآبار
الباب الحادى عشر : الكبارى
الباب الثانى عشر : الأنفاق
ملحق م١ : خرسانة المنشآت المائية

المجلد الخامس : الأعمال الميكانيكية للرى والصرف ويشمل:

الباب الأول : المضخات
الباب الثانى : محركات الإحتراق الداخلى
الباب الثالث : معدات نقل الحركة والقدرة
الباب الرابع : المحابس والبوابات
الباب الخامس : الوقاية الميكانيكية والكيماوية والحماية الكاثودية
الباب السادس : اختبار واختيار المواد
الباب السابع : المعدات الميكانيكية لصيانة المجارى المائية
الباب الثامن : معدات الرى المتطور
الباب التاسع : معدات مراقبة نوعية المياه فى المجارى المائية

المجلد السادس : الأعمال الكهربائية للرى والصرف ويشمل:

الباب الأول : المحركات الكهربية
الباب الثانى : المحولات الكهربية وملحقاتها
الباب الثالث : المفاتيح وتركيبات التوصيلات الكهربائية والوقاية الكهربائية
الباب الرابع : دوائر وأجهزة التحكم فى المحركات الكهربية
الباب الخامس : شروط تنفيذ الأعمال الكهربية
الباب السادس : منظومات طوارىء التغذية الكهربية
الباب السابع : التأريض
الباب الثامن : معدات الرى التى تعمل بالكهرباء

المجلد السابع: تقنيات حماية الشواطيء البحرية ويشمل:

الباب الأول : العوامل الطبيعية المؤثرة على المنطقة الساحلية والشاطئية

الباب الثانى : البحوث والدراسات الحقلية وأعمال النماذج الهيدروليكية الطبيعية والرياضية

الباب الثالث : تخطيط منشآت حماية الشواطئ وتأثيرها على المنطقة الشاطئية

الباب الرابع : تصميم منشآت الحماية

الباب الخامس : منشآت حماية الشواطئ وصيانتها

فهرس المجلد السابع
تقنيات حماية الشواطئ البحرية

الباب الأول : العوامل الطبيعية المؤثرة على المنطقة الشاطئية و الساحلية
(الرياح - الأمواج - التيارات - تغير منسوب سطح البحر- حركة المواد الرسوبية)

الباب الثانى : البحوث والدراسات الحقلية وأعمال النماذج الهيدروليكية الطبيعية والرياضية

الباب الثالث : تخطيط منشآت حماية الشواطىء وتأثيرها على المنطقة الشاطئية

الباب الرابع : تصميم منشآت الحماية

الباب الخامس : منشآت حماية الشواطىء وصيانتها

الباب الأول
العوامل الطبيعية المؤثرة على المنطقة الشاطئية والساحلية
(الرياح - الأمواج - التيارات - تغير منسوب سطح البحر - حركة المواد الرسوبيه)

١-١ مقدمة عامة وتعريفـــات

تتأثر المنطقة الساحلية الشاطئية بالعديد من الظواهر الطبيعية التي تؤثر على طبوغرافيتها واتزانها مثل الرياح والأمواج وتغير منسوب المياه والتيارات الساحلية وطبيعة المواد الرسوبيه. وتتداخل هذه الظواهر مع بعضها بالإضافة إلى تغير خصائص هذه الظواهر ذاتها طبقا للمكان والزمان الأمر الذي يؤدى إلى تعقيد العملية الديناميكية للمنطقة. كما يتأثر هذا الاتزان أيضا بالمنشآت الشاطئيه والسدود المقامة على مجارى الأنهار التى تصب فى منطقه الشاطئ. ويوضح الشكل رقم (١-١) منظومة المنطقة الشاطئية حيث:

(أ) : تغير خصائص الأمواج "Wave Transformation".
(ب) : منظومة التيارات القريبة من الشاطئ "Near Shore Current Field".
(ج) : حركة المواد الرسوبية (على القاع أو المعلقة).
(د) : تغير طبوغرافية القاع "Bottom Evolution" نتيجة لحركة المواد الرسوبية.
(هـ) : العلاقة المتبادلة "Interaction" بين الأمواج والتيارات البحرية.
(و) : النحر/الترسيب بالمنطقة الشاطئية.
(ز) : حركة رمال الشاطئ تحت تأثير الرياح.
(ح) : حركة المواد الرسوبية من مصبات الأنهار.
(ط) : تغير طبوغرافية القاع نتيجة للمنشأت الشاطئية.
(ك) : شكل القاع وخشونته.
(ل) : المقاومة الناشئة عن كثافة الكتلة "Mass Density" .

وفيما يلي التعريفات الخاصة بالمنطقة الشاطئية ومناطق تأثير الأمواج (شكل رقم ١-٢):-

خط الشاطئ (Shoreline)

هو الخط الفاصل بين مياه البحر واليابسه ويكون محصوراً بين أعلى مد وأدنى جزر وفى جمهورية مصر العربية يعرف بأنه الخط الذى يكون منسوبه صفراً طبقاً لروبيرات هيئة المساحة المصرية الذى كان يطابق متوسط منسوب سطح البحر فى اوائل القرن العشرين.

وجه الشاطئ (Beach Face)

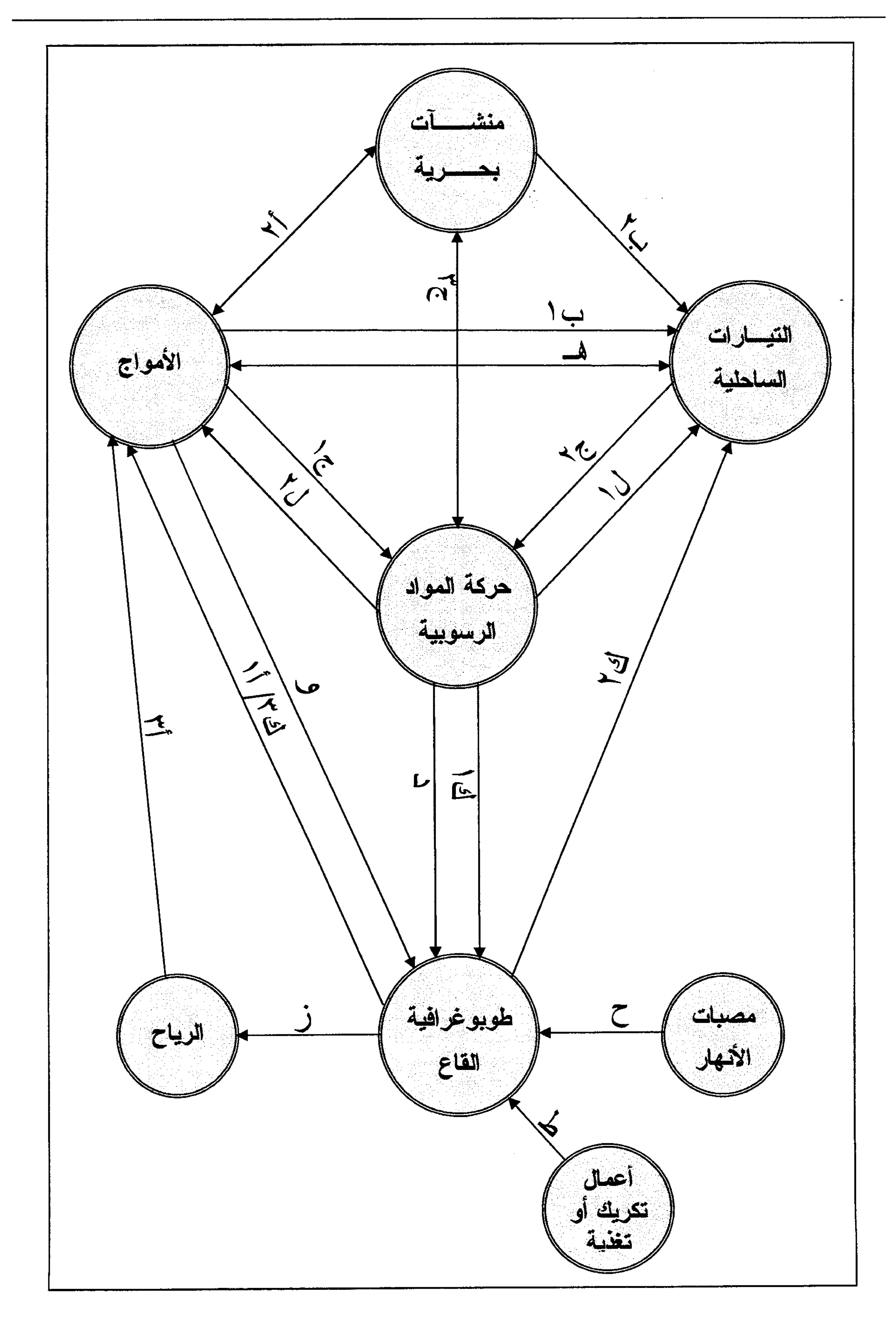
هو الجزء من الشاطئ المعرض لتأثير تلاطم "Swash" الأمواج.

كثيب خطى (Bar)

هو كثيب رسوبي غاطس غالبا موازى للشاطئ ناشئ من التأثير المتبادل بين الحركة المدارية لجزئيات المياه تحت تأثير الأمواج وبين القاع ويقع اسفل منطقة تكسر الامواج.

المسطاح (Berm)

عبارة عن ترسيبات من مواد رسوبية تكونت بتقدم خط الشاطئ وتنحصر بين نهاية وجه الشاطئ والكثبان الرملية.

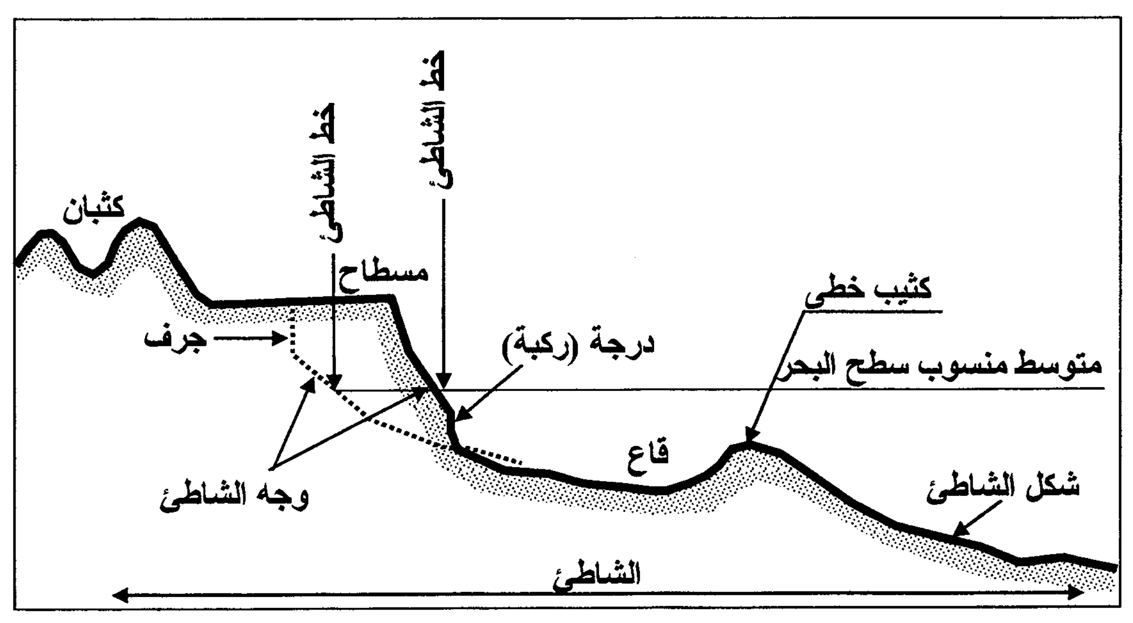


شكل رقم (١-١) منظومة المنطقة الشاطئيه

جرف (Scarp)
هو قطع رأسي تكون بتراجع خط الشاطئ ويفصل بين وجه الشاطئ و المسطاح.

درجه (ركبه) (Step)
هو قطع غاطس صغير ينشأ بفعل الأمواج على الحافة البحرية لوجه الشاطئ.

قاع (Trough)
هو انخفاض يقع مباشرة خلف الكثيب ناحية الشاطئ.



شكل رقم (١-٢) نموذج لقطاع فى المنطقة الشاطئية

ويوضح الشكل رقم (١-٣) المناطق التالية:-

منطقه التكسر (Breaker Zone)
هي منطقة تكسر الأمواج الغير منتظمة.

نقطة التكسر (Breaking Point)
هي نقطة بداية تكسر الأمواج والتي عندها تبلغ الأمواج أقصى ارتفاع.

المنطقة القريبة من الشاطئ (Near-Shore Zone)
هي المنطقة الممتدة في اتجاه البحر من الحد الأرضي للأمواج العاصفة إلى ما خلف منطقة التكسر والتي تمثل ابتداء حركة المواد الرسوبيه.

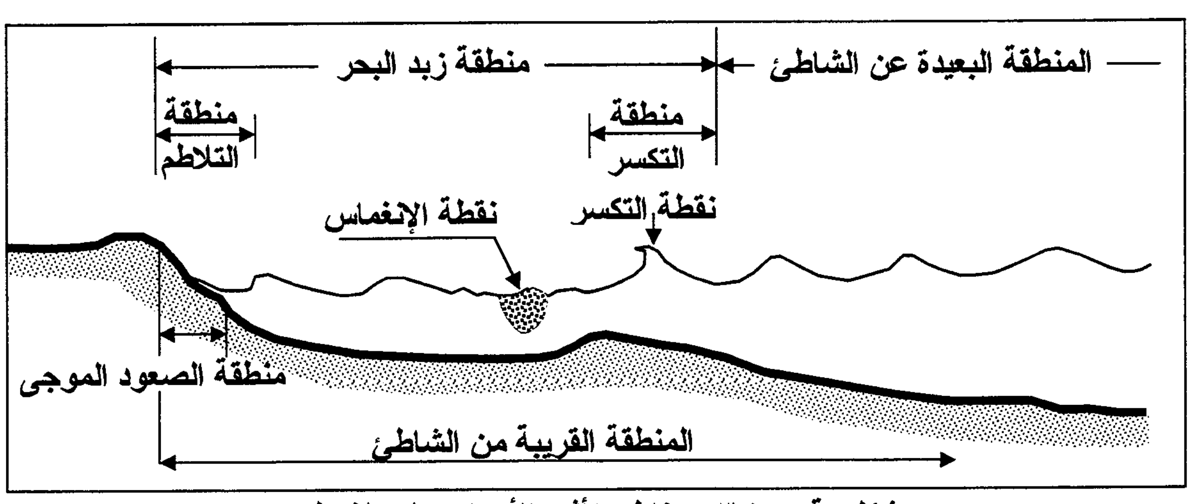
المنطقة البعيدة عن الشاطئ (Offshore Zone)
هي منطقة غير محدده تمتد ناحية البحر خلف منطقة التكسر.

نقطة الانغماس (Plunging Point)
هي النقطة التي عندها يحدث انحلال كامل للأمواج المتكسرة وتختفي قمة الموجه تقريبا تحت سطح المياه.

منطقة الصعود الموجي (Run Up Zone)
هي جزء من منطقة وجه الشاطئ والتي تبدأ عندها الموجه في الاندفاع إلى أعلى وجه الشاطئ وهو مقدار ارتفاع مياه الموجه فوق منسوب سطح البحر.

منطقة التلاطم (Swash Zone)
هي منطقة وجه الشاطئ والتي تمتد في اتجاه الأرض لحدود أقصى صعود موجي أي منطقة أعلى اضطراب موجي نتيجة لتلاطم الموجات الساقطة مع كتله المياه المرتدة من الشاطئ.

منطقة زبد البحر (Surf Zone)
هي المنطقة المحصورة بين الحد البحري لمنطقة تكسر الأمواج والحد الأرضي لمنطقة التلاطم.



شكل رقم (١-٣) مناطق تأثير الأمواج على الشاطئ

١-٢ الرياح

١-٢-١ أنواع الرياح
الرياح عامل هام فى تكوين الأمواج وفى اختلاف مناسيب المياه بالقرب من الشواطئ والمنشآت الشاطئيه وكذا فى حركة المواد الرسوبية فى منطقة زبد البحر.

وتنشأ الظاهرة العامة للرياح نتيجة لتحرك كتل الهواء الباردة ذات الكثافة الأكبر من المناطق الشمالية والجنوبية الباردة لتحل محل الهواء الساخن الأقل كثافة عند خط الاستواء وتتحكم حركة دوران الأرض والعوامل الجوية الأخرى فى تحديد اتجاهات الرياح وسرعتها بوجه عام. كما تنشأ الرياح نتيجة لعوامل محليه ناشئة عن اختلاف درجات الحرارة على سطح الأرض وما يصاحب ذلك من اختلاف فى الضغط الجوى فتتكون مناطق ذات ضغط مرتفع ومناطق أخرى ذات ضغط منخفض تؤدى إلى تحرك كتل من

الهواء موازية لسطح الأرض تقريبا٠ ومسببات وتوزيع الرياح فى الكره الأرضية لـها علم خاص يعرف بالمترولوجيا.

١-٢-٢ درجات شدة الرياح

وقد اصطلح فى العلوم البحرية على تقسيم الرياح حسب سرعاتها إلى ١٣ قسما، ويعرف هذا التقسيم باسم "Beaufort" ويبدأ هذا التقسيم من الصفر وحتى ١٢ وفقا للسرعة التي تـهب بـها الرياح طبقا للجدول رقم (١-١)٠

جدول رقم (١-١) تقسيم بيفورت للرياح

نوع الرياح	رقم بيفورت	سرعة الرياح		متوسط ارتفاع الموجة المحتملة (م)	متوسط زمن تردد الموجه (ث)
		عقده	م/ث		
هادئة	صفر	> ١	صفر - ٠,٢	-	-
نسيم خفيف	١	١-٣	٠,٥ - ١,٥	٠,١	-
رياح خفيفة	٢	٤-٦	١,٦ - ٣,٣	٠,٢	٣
رياح لطيفة	٣	٧-١٠	٣,٤ - ٥,٤	٠,٦	٤
رياح متوسطة	٤	١١-١٦	٥,٥ - ٧,٩	١,٠	٥
رياح نشطة	٥	١٧-٢١	٨,٠ - ١٠,٧	٢,٠	٦
رياح قوية	٦	٢٢-٢٧	١٠,٨ - ١٣,٨	٣,٠	٧
عاصفة متوسطة	٧	٢٨-٣٣	١٣,٩ - ١٧,١	٤,٠	٨,٥
عاصفة	٨	٣٤-٤٠	١٧,٢ - ٢٠,٧	٥,٥	١٠
عاصفة قوية	٩	٤١-٤٧	٢٠,٨ - ٢٤,٤	٧,٠	١١,٨
عاصفة كاملة	١٠	٤٨-٥٥	٢٤,٥ - ٢٨,٤	٩,٠	١٤,٤
زوبعة	١١	٥٦-٦٣	٢٨,٥ - ٣٢,٦	١١,٥	١٧,٥
إعصار	١٢	< ٦٤	< ٣٢,٧	>١٤,٠	

هذا الجدول يعتبر كمرشد فقط ليبين تقريبا ما يمكن توقعه فى المياه العميقه بعيدا عن البر ولا يجب استخدامه لتسجيل حالة البحر.

١-٣ الأمواج Waves

١-٣-١ التعريف بخصائص الأمواج

ارتفاع الموجة " H" Wave Height
هي المسافة الرأسية بين منسوبي قمة الموجة وقاع الموجة.

زمن تردد الموجة " T " Wave Period
هي الفترة الزمنية التي تنقضي بين مرور قمتين متتاليتين للموجة عند مكان ثابت.

طول الموجة " L " Wave Length
هي المسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين للموجة.

سرعة انتقال الموجة " C " Wave Celerity
هي السرعة التي تعبر بها الموجة مكان ثابت عند موقع محدد.

الموجة المميزة (المكافئ) Significant Wave
هي موجة فرضية لها ارتفاع موجي " $H_{⅓}$ " يعادل القيمة الإحصائية لمتوسط أعلى ثلث لمجموعة الأمواج المسجلة. ولها زمن تردد موجى "$T_{⅓}$" يعادل القيمة الاحصائيه لمتوسط الزمن الترددى لهذا الثلث من مجموعة الأمواج.

الموجة القصوى Maximum Wave Height (H_{max})
هي الموجة التي لها أقصى ارتفاع موجي " H_{max} " في مجموعة الأمواج المسجلة وزمن ترددها هو " T_{max} " .

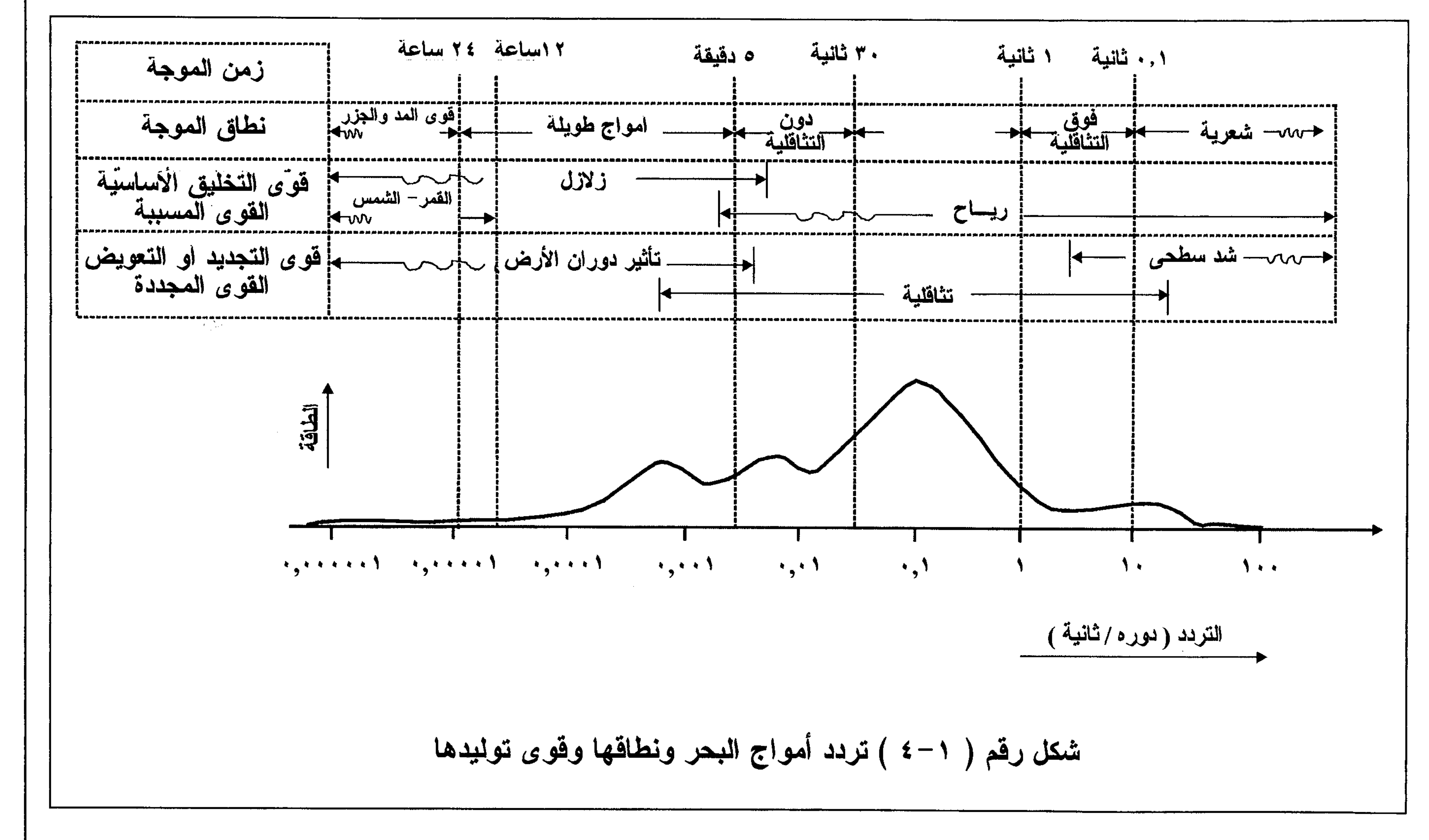
موجة المياه العميقة Deep Water Wave Height (H_o)
هي الموجة التي لا تتأثر حركة جزيئات المياه فيها بوجود قاع البحر ويحدث ذلك عندما يتساوى عمق المياه أو يزيد عن نصف طول الموجة (L)، ويعرف الارتفاع الموجي و زمن التردد الموجي لها بـ" H_0 " و " T_0 " على الترتيب.

الارتفاع المكافئ لموجة المياه العميقة " $\overline{H}_0$ "
هو ارتفاع فرضي لموجة المياه العميقة بعد تصحيحها لإدخال تأثير تغير الأعماق مثل الانكسار والانتشار ولكن دون تأثير التكسر والضحالة $\overline{H}_0 = K_f K_r K_d H_0$
حيث K_f, K_r , K_d هم معامل الخشونة ومعامل الانكسار ومعامل الانتشار على الترتيب.

١-٣-٢ أنواع الأمواج

١-٣-٢-١ أنواع الأمواج وفقا للظواهر المتولّده عنها

تنقسم الأمواج وفقا لأسباب تولّدها إلى أربعة أنواع رئيسية هي على النحو التالي بيانه كما يعطي الشكل رقم (١-٤) زمن تردد أمواج البحر ونطاقها وقوى تخليقها وتجديدها :-



شكل رقم (١ - ٤) تردد أمواج البحر ونطاقها وقوى توليدها

١-٣-٢-١-١ أمواج الرياح Wind Waves

وتعرف بالأمواج التثاقلية وتنشأ نتيجة لهبوب الرياح على سطح المياه ويتراوح زمن تردد هذه الأمواج بين ١ ثانية إلى ٣٠ ثانية وغالبا ما تكون أقل من ١٥ ثانية وهذا النوع من الأمواج له أهمية خاصة لأنه يشكل نوع الأمواج المؤثرة في تطور المنطقة الشاطئية.

فعندما تهب الرياح فوق سطح مياه البحر تنشأ سلسلة " قطارات- Trains " من الموجات نتيجة لاجهادات قص التيّارات الهوائية على سطح البحر، ولا تتحرك المياه بنفسها إلى الأمام فى اتجاه تقدم الأمواج بل تتحرك جزئياتها فى حركة دائريه مقفلة فى المياه العميقه، متحركة إلى الأمام عند قمة الموجه والى الخلف عند قاع الموجه كما هو موضح بالشكل رقم (١-٥). وقد وجد أنه إذا زادت سرعة الرياح عن حوالي ١٠ عقده فان الطاقة المنتقلة إلى الأمواج تكون كافيه لجعلها تزيد فى الارتفاع والطول والسرعة إلى أن تصل سرعة تقدم الأمواج إلي نفس سرعة الرياح. وقد تحتاج هذه العملية إلي عدة أيام مع رياح قويه ومدى مكشوف Fetch كاف، بعد ذلك تظل حالة الأمواج كما هي تقريبا طوال فترة هبوب الرياح. كذلك هناك عامل آخر يؤثر فى تولد الأمواج وهو طول المدى المكشوف للمسطح المائي الذي تهب عليه الرياح ، وعلى الرغم من تحرك كل موجه بمفردها بسرعة تقترب من سرعة الرياح التي سببتها فإن سرعة مجموعة الأمواج تعادل نصف تلك التي لمفرداتها فى المياه العميقه. وكلما زاد طول الموجه أسرعت فى حركتها وزادت الصعوبة فى تحطيمها "Damping " أي أنها تكون ذات فتره حياه أطول. علما بأن تلك الأمواج تفقد حوالي نصف ارتفاعها فى كل مره تقطع فيها مسافة بالكيلومتر تكافئ طولها بالمتر.

١-٣-٢-١-٢ الأمواج المدية (Tidal Waves)

هي أمواج طويلة جدا توضح شكل تغير منسوب مياه البحر مع حركة المد والجزر وزمن ترددها يكون إما ما يقرب من ٢٤ ساعة أو ١٢ ساعة.

١-٣-٢-١-٣ الأمواج الناشئة عن الزلازل (Tsunami)

هي أمواج طويلة ويتراوح ترددها بين ٥ دقائق إلى ١٢ ساعة.

١-٣-٢-١-٤ الأمواج الناشئة عن حركة السفن(Ship Waves)

هي تحدث في الممرات المائية المحدودة وفي مداخل البواغيز.

١-٣-٢-٢ أنواع الأمواج بالنسبة لخصائصها الهيدروديناميكية

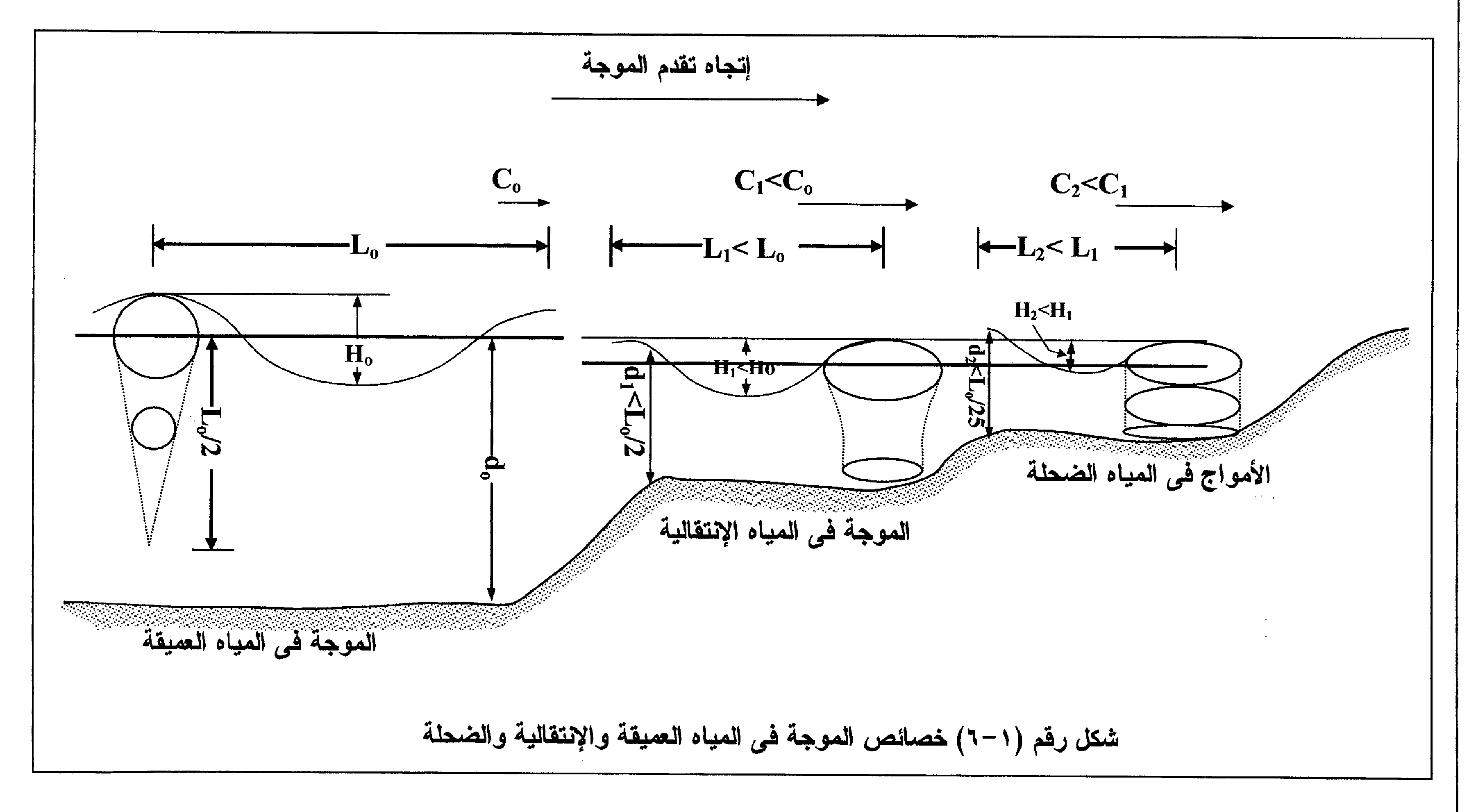
تختلف الخصائص الهيدروديناميكية للأمواج وفقا لعمق المياه وهي تقسم إلى ثلاثة أنواع هي أمواج المياه العميقة والأمواج الانتقالية وأمواج المياه الضحلة، ويوضح الشكل رقم (١-٦) خصائص الموجة فى المياه العميقة والانتقالية والضحلة.

١-٣-٢-٢-١ الأمواج العميقة المتذبذبة

يتكون هذا النوع من الأمواج عندما يكون القاع على عمق اكبر من نصف طول الموجة فى المياه العميقة (L_o) وفى هذه الحالة لا تتأثر حركة جزئيات المياه في الموجة بوجود القاع وتكون مسارات جزئيات المياه دائرية بأنصاف أقطار متناقصة مع العمق إلي أن تتلاشى تقريبا عند عمق يساوى نصف طول الموجة أو بما يزيد عن ذلك قليلا. فعند سطح المياه يكون قطر الدائرة التي تمثل مسار جزيئات المياه مساويا لارتفاع الموجة وبحيث يكون المركز عند منتصف المسافة الرأسية بين قمة الموجة وقاعها، ويسمى السطح المار بمراكز الدوائر السطحية بسطح التموج. ويرتفع متوسط منسوب سطح المياه -

أي منسوب سطح التموج - عن منسوب سطح المياه الساكنة (Δ) بحوالي (١ر٠ إلى ١٧ر٠) من ارتفاع الموجة طبقا لخواصها مما يؤدى إلى عدم تماثل الموجة حول منسوب سطح المياه الساكنة ويعلل ذلك لاختلاف مقاومة الهواء للأجزاء العليا من الموجة عن مقاومة الهواء للأجزاء السفلى منها. ويوضح الشكل رقم (١-٥) شكل الموجة المتأرجحه.

شكل رقم (١-٥) سرعة و عجلة حركة جزيئات المياه فى الموجة فى المياه العميقة



شكل رقم (١-٦) خصائص الموجة فى المياه العميقة والإنتقالية والضحلة

ولا ينتج عن الأمواج المتأرجحه انتقال ملموس لجزئيات المياه فى اتجاه تقدم الموجه حيث أن جزئيات الماء تتحرك فى مسار دائري مقفل، فيختلف منسوبـها فقط دون أن تنتقل كتلتها. وعلى ذلك فان المشاهد لحركة الأمواج فى البحر يلاحظ تقدم شكل الموجة وليست جزئيات المياه• ويتضح ذلك من الشكل رقم (١-٧).

١-٣-٢-٢-٢ الأمواج الانتقالية

هي الأمواج التي تتواجد فى أعماق تقل عن نصف طول الموجة (L_o) وتكون مسارات جزئيات المياه فيها على أشكال القطع الناقص، ولا يحدث أيضا انتقال ملموس لجزئيات المياه وغالبا ما يزيد عمق المياه (d) في حالة هذه الأمواج عن ارتفاع الموجة (H)

١-٣-٢-٢-٣ أمواج المياه الضحلة

هي الأمواج المتكونة فى مياه يقل فيها عمق المياه عن ٠٫٠٤ من طول الموجة (L_o). فعندما يقل عمق قاع البحر عن نصف طول الموجة يؤثر ذلك على المسارات الدائرية لجزئيات المياه وتتحرك جزئيات المياه فى أشكال القطع الناقص محاورها الأساسية الكبرى في الاتجاه الأفقي وتتزايد النسبة بين المحورين الأكبر والأصغر للقطع الناقص كلما قل العمق• وعند قاع البحر يصبح القطع الناقص قريبا من الخط المستقيم أي تصبح حركة جزئيات المياه حركة ترددیه موازية لقاع البحر تقريبا.

وتختلف سرعة جزئيات المياه على مسارات القطع الناقص حيث تكون السرعة فى الاتجاه الأفقي أكبر(u) من السرعة فى الاتجاه الرأسى(w) . وكلما قل العمق فان القطع الناقص يبدأ فى تعديل أوضاع محاوره وتبدأ المحاور الأساسية الكبرى في اتخاذ وضع يميل على الأفقي بزاوية تزداد كلما اقتربت الموجة من الشاطئ حتى إذا ما أصبحت سرعة جزئيات المياه أكبر من سرعة انتقال الموجة نفسها تتحول الأمواج إلى أمواج متكسرة حيث تفقد اتزانها وتسبب اندفاع المياه على الشاطئ أي انتقال لكتله المياه وهذه تعرف غالبا بأمواج المياه الضحلة وتحدث غالبا عندما يقل العمق عن ارتفاع الموجة ($H>d$).

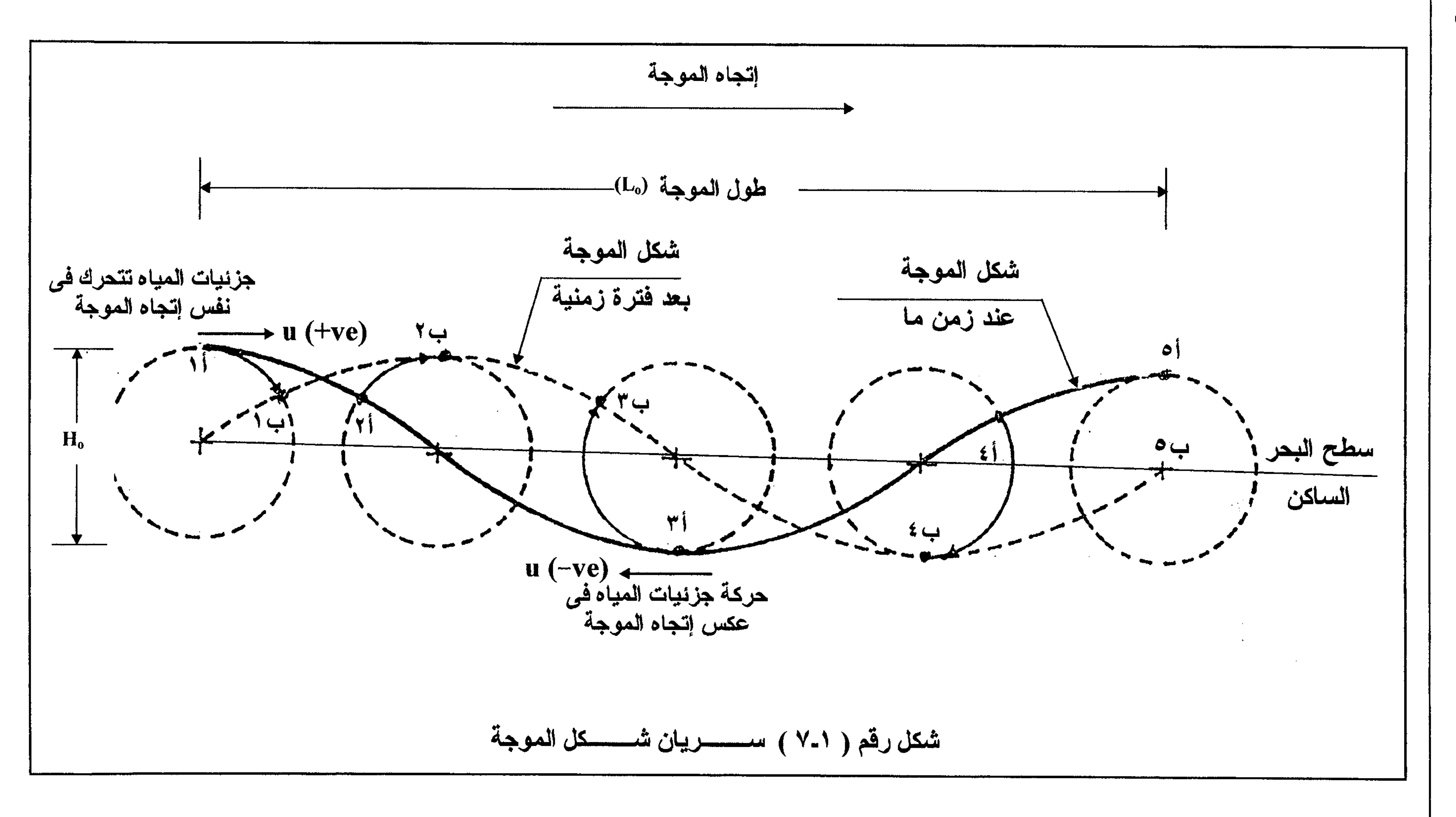
١-٣-٣ نظريات الأمواج

هناك عدة نظريات تتعلق بتعيين خصائص الأمواج وتختلف فى درجة دالاتها الأسية أو فى الافتراضات الخاصة بتوصيف خصائص الموجة.

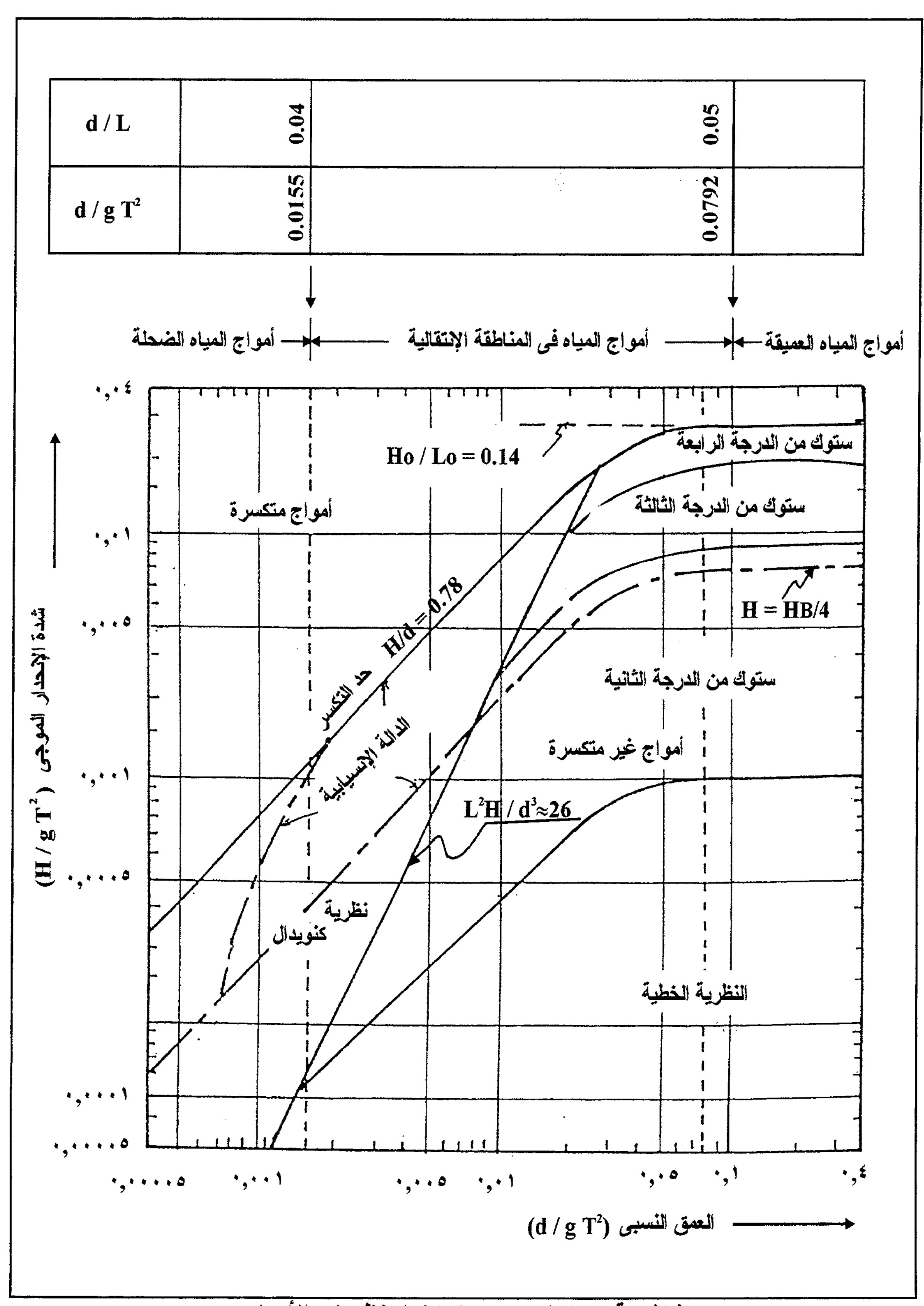
ومن المعلوم إن معظم المشاكل المعتادة الخاصة بـهندسة الشواطئ يمكن معالجتها باستخدام نظرية الأمواج الخطية (Linear Wave Theory) خاصة بالنسبة للأمواج ذات انحدار موجي (H/Lo) أقل من ٠,٠٢خارج منطقة تكسر الأمواج، وتستخدم النظريات ذات الدالة الأسية الأعلى من الدرجة الأولى بالنسبة للأمواج فى منطقة التكسر أو فى حالة زيادة شدة الانحدار الموجي عن ٠,٠٢ .

كما يتم أيضا استخدام هذه النظريات فى التحليل الرياضي وفى النماذج الرياضية لدراسة تغير خصائص الأمواج أثناء تقدمها فى اتجاه الشاطئ وكذا فى حساب القوى الناشئة عن الأمواج•

ويعتمد اختيار النظرية الملائمة على شدة الانحدار الموجي "Wave Steepness" [$H/(g\ T^2)$] وعلى عمق المياه بالنسبة لطول الموجة "العمق النسبي" [$d/(g\ T^2)$] كما هو موضح بالشكل رقم (١-٨) .



شكل رقم (١-٧) سريان شكل الموجة



شكل رقم (١-٨) حدود إستخدام نظريات الأمواج

١-٣-٣-١ نظرية الأمواج الخطية (السعة الصغرى- ستوك من الدرجة الأولى) "Stokes"

يمكن حساب الخصائص الأساسية للأمواج بتقريب مقبول باستخدام هذه النظرية. كما يمكن استخدامها فى حالة الأمواج الغير منتظمة عندما يتم التعبير عنها بتراكيب مكونة من عدد غير محدد من مركبات أمواج منتظمة مختلفة الخصائص، كما هو موضح بالشكل رقم (١-٩) ويعتمد استخدام هذه النظرية على الفروض التالية:-

أ - عمق المياه ثابت.
ب- حركة جزئيات المياه فى مدار دائري مقفل.
جـ- تطابق منسوب المياه المتوسط " MWL " مع السطح الساكن للمياه "SWL ".

ويتم استخدام المعادلات التالية لتحديد خصائص الموجه بنظرية الأمواج الخطية:-

١- شكل تموج السطح (الإزاحة من سطح المياه الساكن) " η ":-

$$\eta_{(x,t)} = \frac{H}{2}\cos\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1\text{-}1)$$

$$= \frac{H}{2}\cos(kx - \omega t) \quad (1\text{-}2)$$

$$\eta = \frac{H}{2}\cos\theta \quad (1\text{-}3)$$

حيث :

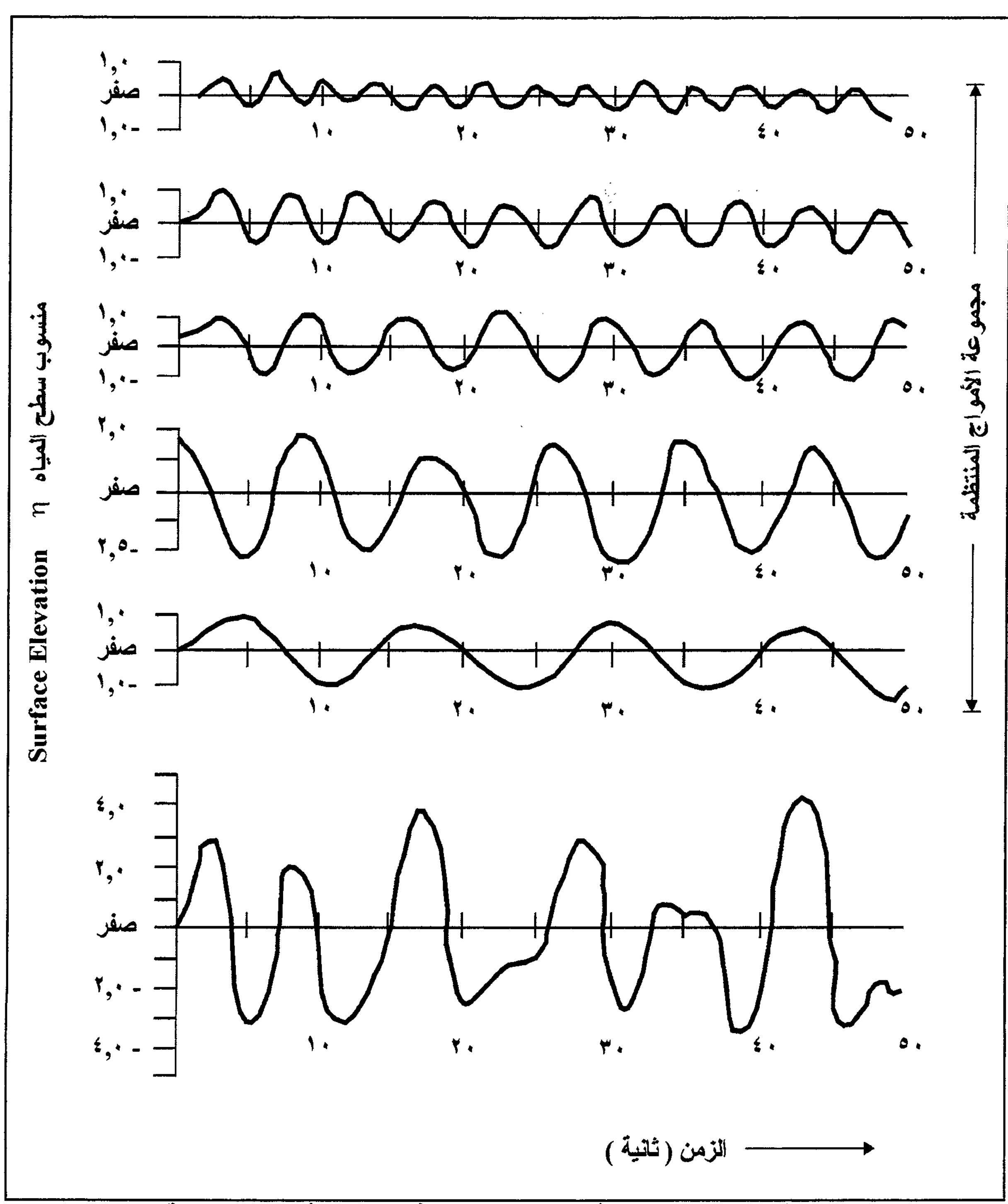
η : شكل تموج السطح (م).
H : ارتفاع الموجة (م).
L : طول الموجة (م).
T : زمن تردد الموجة (ث).
x : اتجاه تقدم الموجة (محور السينات).
k : العدد الموجي = $2\pi / L$.
ω : التردد الدائري للموجة = $2\pi / T$.

٢- طول الموجـــة "L"

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh(kd) \quad (1\text{-}4)$$

حيث:

g : عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)
d : عمق المياه (م)



شكل رقم (١-٩) تمثيل الأمواج الغير منتظمة بتجميع الأمواج المنتظمة

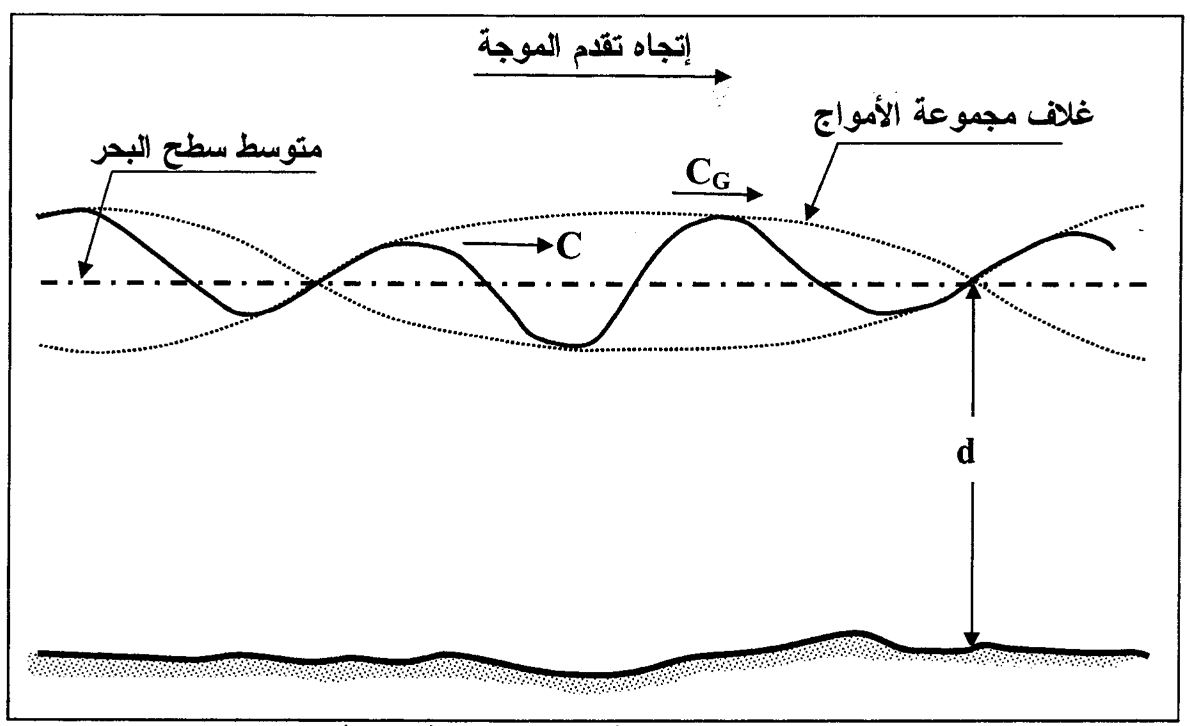
٣- سرعة تقدم الموجه "C"

$$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}\tanh(kd) \qquad (1\text{-}5)$$

$$C_G = nC = \frac{1}{2}[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}]C \qquad (1\text{-}6)$$

حيث

C_G : سرعة انتقال مجموعه من الأمواج (شكل رقم (١-١٠)).



شكل رقم (١-١٠) سرعة إنتقال مجموعة من الأمواج

٤- سرعة جسيم المياه (م/ث) U & W

$$U = \frac{H}{2}\frac{gT}{L}\frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)}\cos\theta \qquad (1-7)$$

$$W = \frac{H}{2}\frac{gT}{L}\frac{\sinh[k(z+d)]}{\cosh(kd)}\sin\theta \qquad (1-8)$$

حيث:-

U : مركبه سرعة جسيم المياه (م/ث) فى اتجاه محور السينات (المحور الموازى لحركه تقدم الأمواج) x - axis

W : مركبه سرعة جسيم المياه (م/ث) فى اتجاه محور العينات (المحور العمودي على المستوى الأفقي) Z - axis

Z : هو المحور العيني للاتجاه الرأسي إلى أعلى.

٥- عجلة جسيم المياه (م/ث^2)

$$a_x = \frac{g\pi H}{L}\frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)}\sin\theta \qquad (1-9)$$

$$a_z = \frac{-g\pi H}{L}\frac{\sinh[k(z+d)]}{\cosh(kd)}\cos\theta \qquad (1\text{-}10)$$

حيث :

a_x : مركبة عجلة جسيم المياه فى اتجاه المحور السيني (م/ث٢)

a_z : مركبة عجلة جسيم المياه فى اتجاه المحور العيني (م/ث٢)

٦- الضغط الناشئ عن الأمواج التحت سطحيه "P" (طن قوى / م٢) (T_f/m^2)

$$P = \frac{H}{2}\rho g\frac{\cosh[k(d+z)]}{\cosh(kd)}\cos\theta - \rho gz \qquad (1\text{-}11)$$

$$= \rho g\eta\frac{\cosh[k(d+z)]}{\cosh(kd)} - \rho gz \qquad (1\text{-}12)$$

حيث:-

ρ = كثافة المياه (طن /م٣)

٧- متوسط طاقة الأمواج/ وحدة المساحات لسطح المياه ($T_f.m/m^2$)(طن قوى م/م٢) " $\overline{E}$ "

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8} \qquad (1\text{-}13)$$

$$\overline{E} = \frac{E}{L} = \frac{\rho g H^2}{8} \qquad (1\text{-}14)$$

وبفرض أن طاقة حركة الأمواج تساوى طاقة وضع الأمواج

حيث:-

E : طاقة الأمواج الكلية/ وحده عرض قمة الموجة لطول موجة واحدة

E_k : طاقة حركة الأمواج

E_p : طاقة وضع الأمواج

٨- متوسط الطاقة المنتقلة فى اتجاه انتقال الأمواج عبر وحدة العرض فى وحدة الزمن " $\overline{P}$ " [($T_f.m/m$)/s]

$$\overline{P} = C_G\overline{E} = nC\overline{E} \qquad (1\text{-}15)$$

ويوضح الجدول رقم (١-٢) خصائص الموجة الأساسية طبقا لنظرية الأمواج الخطية فى المياه العميقة والمياه الضحلة والمياه فى منطقة الانتقال.

جدول رقم (١ - ٢)

خصائص الأمواج طبقا لنظرية الأمواج الخطية

العمق النسبى / الخصائص الأساسية	المياه الضحلة $\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$	المياه فى المنطقة الانتقالية $\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	المياه العميقة $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
١ - الشكل السطحى	$\eta = \frac{H}{2}\cos[kx - \omega t] = \frac{H}{2}\cos\theta$	$\eta = \frac{H}{2}\cos[kx - \omega t] = \frac{H}{2}\cos\theta$	$\eta = \frac{H}{2}\cos[kx - \omega t] = \frac{H}{2}\cos\theta$
٢ - سرعة انتقال الموجة	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}\tanh(kd)$	$C = C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
٣ - طول الموجة	$L = T\sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh(kd)$	$L = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = C_o T$
٤ - سرعة تقدم مجموعة من الأمواج	$C_G = C = \sqrt{gd}$	$C_G = nC = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]C$	$C_G = \frac{1}{2}C = \frac{gT}{4\pi}$
٥ - سرعة جسيم المياه			
أ - أفقيا	$U = \frac{H}{2}\sqrt{\frac{g}{d}}\cos\theta$	$U = \frac{H}{2}\frac{gT}{L}\frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)}\cos\theta$	$U = \frac{\pi H}{T}\exp\left(\frac{2\pi z}{L}\right)\cos\theta$
ب - رأسيا	$W = \frac{H\pi}{T}\left(1 + \frac{z}{d}\right)\sin\theta$	$W = \frac{H}{2}\frac{gT}{L}\frac{\sinh[k(z+d)]}{\cosh(kd)}\sin\theta$	$W = \frac{\pi H}{T}\exp\left(\frac{2\pi z}{L}\right)\sin\theta$

تابع جدول رقم (١ - ٢)

العمق النسبى / الخصائص الأساسية	المياه الضحلة $\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$	المياه فى المنطقة الانتقالية $\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	المياه العميقة $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
٦ - عجلة جسيم المياه			
أ - أفقيا	$a_x = \frac{H\pi}{T}\sqrt{\frac{g}{d}}\sin\theta$	$a_x = \frac{g\pi H}{L}\frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)}\sin\theta$	$a_x = 2H\left(\frac{\pi}{T}\right)^2 \exp\left(\frac{2\pi z}{L}\right)\sin\theta$
ب - رأسيا	$a_z = -2H\left(\frac{\pi}{T}\right)^2\left(1+\frac{z}{d}\right)\cos\theta$	$a_z = \frac{-g\pi H}{L}\frac{\sinh[k(z+d)]}{\cosh(kd)}\cos\theta$	$a_z = -2H\left(\frac{\pi}{T}\right)^2 \exp\left(\frac{2\pi z}{L}\right)\cos\theta$
٧ - إزاحة جسيم المياه			
أ - أفقيا	$\xi = \frac{-HT}{4\pi}\sqrt{\frac{g}{d}}\sin\theta$	$\xi = \frac{-H}{2}\frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)}\cos\theta$	$\xi = \frac{-H}{2}\exp\left(\frac{2\pi z}{L}\right)\sin\theta$
ب - رأسيا	$\zeta = \frac{H}{2}\left(1+\frac{z}{d}\right)\cos\theta$	$\zeta = \frac{H}{2}\frac{\sinh[k(z+d)]}{\sinh(kd)}\cos\theta$	$\zeta = \frac{H}{2}\exp\left(\frac{2\pi z}{L}\right)\cos\theta$
٨ - الضغط تحت السطح	$P = \rho g(\eta - z)$	$P = \rho g\eta\frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} - \rho gz$	$P = \rho g\eta\exp\left(\frac{2\pi z}{L}\right) - \rho gz$

١-٣-٣-٢ نظريات الأمواج ذات الدرجات العالية

١-٣-٣-٢-١ نظرية ستوك للأمواج من الدرجات العالية "Stokes"

تستخدم هذه النـــظرية عندما يكون معامل يورسل "Ursell" اقل من واحد صحيح (حيث معامل يورسل = $L^2\ H/d^3$) وتوضح المعادلات التالية خصائص الموجه طبقا لنظرية ستوك للأمواج من الدرجة الثانية:

(١) أرتفاع السطح الموجى "η":-

$$\eta = \frac{1}{2} H \cos\theta + (\frac{kH^2}{16}) \frac{\cosh(kd)}{\sinh^3 (kd)} [2 + \cosh(2kd)] \cos 2\theta \qquad (1\text{-}16)$$

ونختصر هذه المعادلة للأمواج فى المياه العميقة لتصبح

$$\eta = \frac{H_o}{2} \cos\theta + \frac{\pi H_o^2}{4L_o} \cos 2\theta \qquad (1\text{-}17)$$

ويوضح الشكل رقم (١-١١) الفرق بين شكل الموجه الخطية والموجه الغير خطية.

(٢) طول الموجـــــه "L":-

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kd) \qquad (1\text{-}18)$$

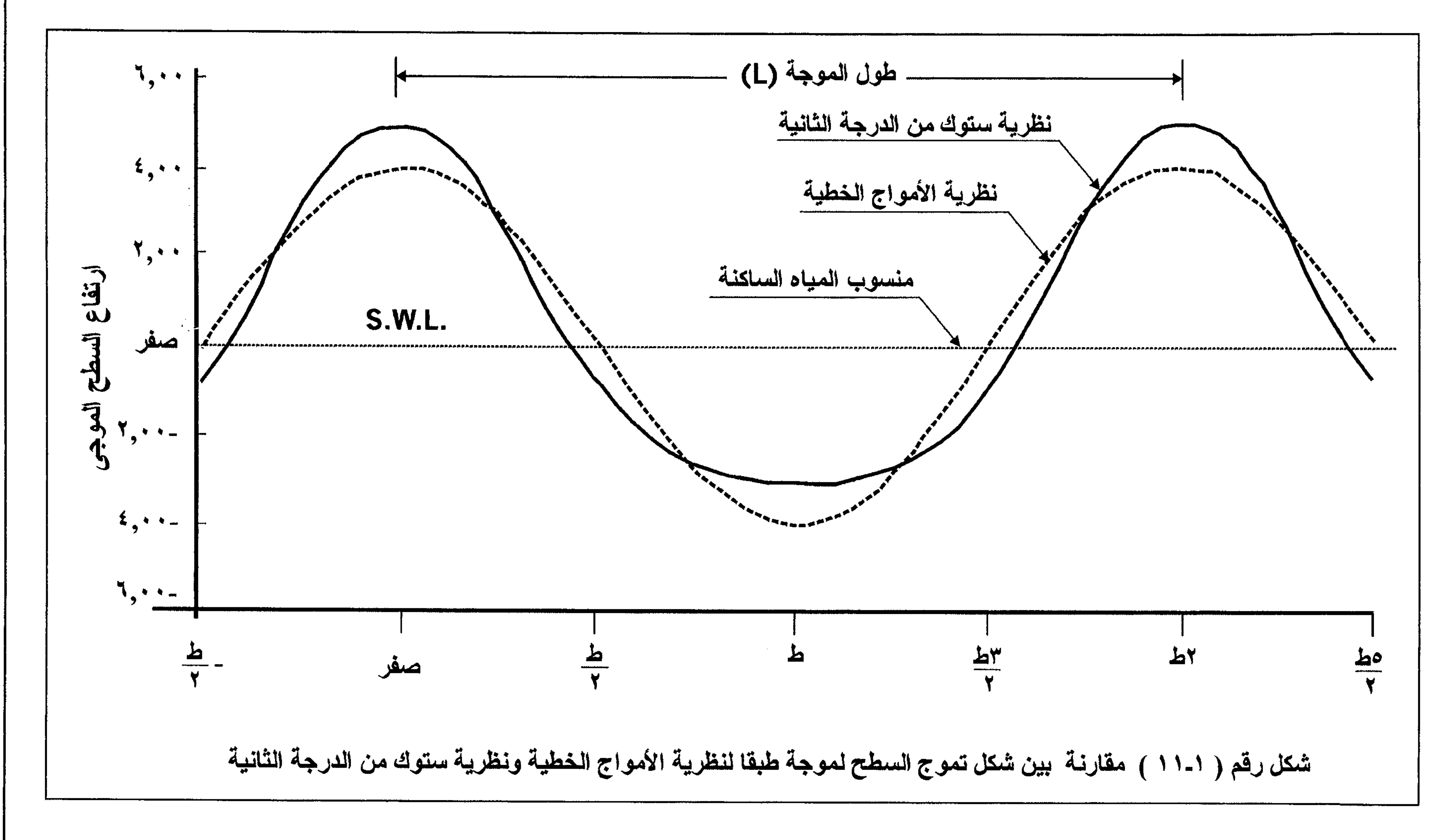
(٣) سرعة تقدم الموجـــه "C":-

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kd) \qquad (1\text{-}19)$$

(٤) سرعة جسيم المـياه U & W :-

$$U = \frac{HgT}{2L} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} \cos\theta + \frac{3}{16} (kH)^2 C \frac{\cosh[2k(z+d)]}{\sinh^4 (kd)} \cos 2\theta \qquad (1\text{-}20)$$

$$W = \frac{\pi HC}{L} \frac{\sinh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \sin\theta + \frac{3}{16} (kH)^2 C \frac{\sinh[2k(z+d)]}{\sinh^4 (kd)} \sin 2\theta \qquad (1\text{-}21)$$



شكل رقم (١-١١) مقارنة بين شكل تموج السطح لموجة طبقا لنظرية الأمواج الخطية ونظرية ستوك من الدرجة الثانية

(٥) الضغط الناشئ عن الأمواج التحت سطحيه " P ":-

$$P = \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} \cos\theta - \rho g z +$$

$$\frac{3}{16} \rho g k H^2 \frac{\tanh(kd)}{\sinh^2(kd)} [\frac{\cosh[2k(z+d)]}{\sinh^2(kd)} - \frac{1}{3}] \cos 2\theta -$$

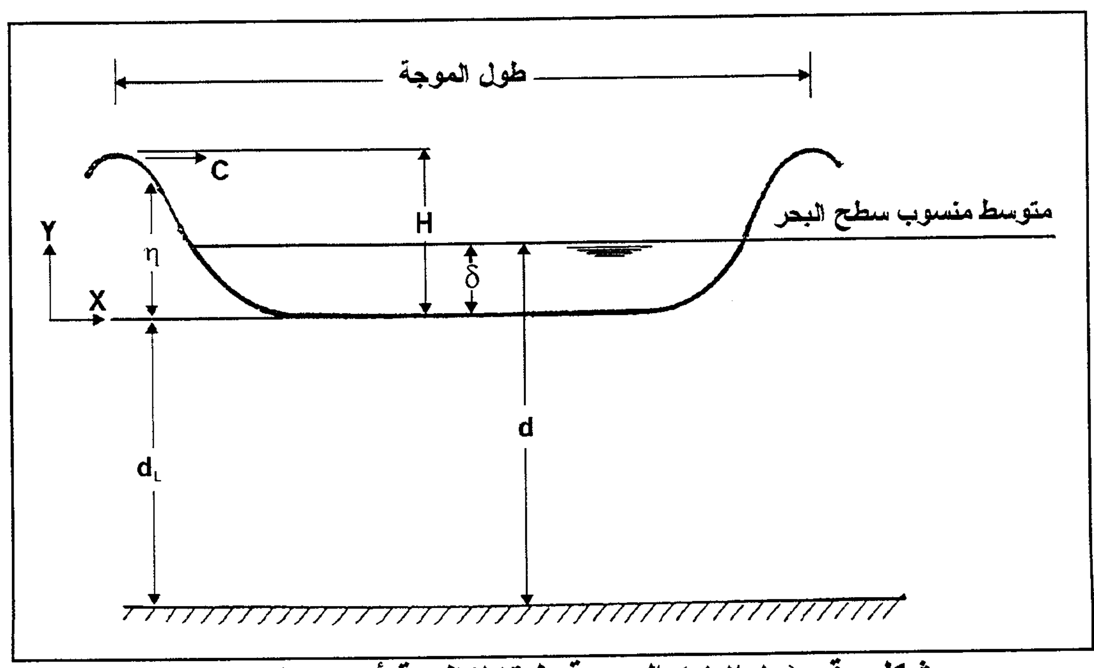
$$\frac{1}{16} \rho g k H^2 \frac{\tanh(kd)}{\sinh^2(kd)} [\cosh 2k(z+d) - 1] \qquad (1-22)$$

وعادة يتم استخدام جداول الأمواج لتعيين خصائص الموجه باستخدام نظريات الأمواج ذات الدرجات العالية ومن أمثلة هذه الجداول:-

- جداول ويجل"Wiegel" عام ١٩٦٤ لتعيين خصائص الموجه باستخدام نظرية ستوك من الدرجة الثانية.
- جداول اسكجيلبريا "Skjelbreia" عام ١٩٥٩ لتعيين خصائص الموجه باستخدام نظرية ستوك من الدرجة الثالثة.
- جداول اسكجيلبريا "Skjelbreia" عام ١٩٦٧ لتعيين خصائص الموجه باستخدام نظرية ستوك من الدرجة الخامسة.

١-٣-٣-٢-٢ نظرية أمواج الكنويدال "Cnoidal"

الشكل الموجي يعين بـ جيب "sine" داله ناقصة elliptical function و تستخدم جداول ماشخ-ويجل عام ١٩٦١ لتعيين خصائص الأمواج طبقا لهذه النظرية ويوضح الشكل رقم (١-١٢) كروكي لشكل الموجه طبقا لهذه النظرية حيث يؤدى زيادة شدة الانحدار الموجي فى المياه الضحلة إلى ارتفاع قمة الموجه فوق سطح المياه الساكنة وفلطحة قاع الموجة.



شكل رقم (١-١٢) الموجة طبقا لنظرية أمواج الكنويدال

وتســتخدم هــذه النظريــة فــى حالــة الأمــواج الطويلــة فــى الأعمــاق الضــحلة وعنــدما يكــون معامــل يورسل"Ursell coefficient" اكبر من ٢٦ والعمق النسبي "d/L" اقل من أو يساوى ١ر٠ .

١-٣-٣-٢-٣ نظرية الموجه العجلية "Trochoidal"

تستخدم هذه النظرية لتحديد خصائص الأمواج فى المياه العميقة بدقه كبيره وتعتمد هذه النظرية على استخدام معادلات لاجرانج Lagrang للحركة وللاستمرارية وعادة تستخدم هذه النظرية عندما يكون معامل يورسل اكبر من أو يساوى ٤٨ والعمق النسبي أقل من أو يساوى ٥ر٠ .

١-٣-٣-٢-٤ نظرية الدالة الانسيابية "Stream Function"

وتتشابه هذه النظرية مع نظريات ستوك من الدرجات العالية. ويتم تعيين خصائص الموجه طبقا لهذه النظرية من جداول دين عام ١٩٧٣.

و يوضح الجدول رقم (١-٣) مقارنة لحدود استخدام النظريات السابقة

جدول رقم (١-٣) مقارنة لحدود إستخدام النظريات المختلفة

المياه العميقة	المياه الإنتقالية	المياه الضحلة
- النظرية الخطية - نظرية الدالة الإنسيابية - نظرية ستوك من الدرجة الثالثة	- النظرية الخطية - نظرية كنويدال - نظرية الدالة الإنسيابية - نظرية ستوك من الدرجة الثالثة	النظرية الخطية - نظرية كنويدال
- نظرية الدالة الإنسيابية - نظرية ستوك من الدرجة الثالثة	- النظرية الخطية $\left(\frac{d}{L_o} \le 0.15\right)$ - نظرية كنويدال $\left(\frac{d}{L_o} \le 0.08\right)$ - نظرية الدالة الإنسيابية $\left(\frac{d}{L_o} \ge 0.05\right)$ - نظرية ستوك من الدرجة الثالثة $\left(\frac{d}{L_o} \ge 0.1\right)$	- النظرية الخطية - نظرية كنويدال
- نظرية الدالة الإنسيابية - نظرية ستوك من الدرجة الثالثة $\left(\frac{d}{L_o} \ge 0.15\right)$	- النظرية الخطية $\left(\frac{d}{L_o} \le 0.02\right)$ - نظرية الدالة الإنسيابية	- النظرية الخطية - نظرية كنويدال - نظرية الموجة المنفردة

١-٣-٣-٣ نظرية الأمواج المفردة Solitary Waves

الموجه المفردة هي موجه ذات قمة مفرده أي أن العدد الموجي " k " يساوى واحد. ويمكن استخدام هذه النظرية فى معالجة بعض حالات الأمواج القريبة من الشاطئ ويوضح الشكل رقم (١-١٣) كروكي لشكل هذه الموجة.

ويتم حساب خصائص هذه الموجه بدقه مقبولة من المعادلات التالية:

$$\eta = H \sec h^2 \left(\sqrt{\frac{3H}{4d^3}}\theta\right), \qquad \theta = (x - Ct) \tag{1-23}$$

$$C = \sqrt{g(d+H)} \tag{1-24}$$

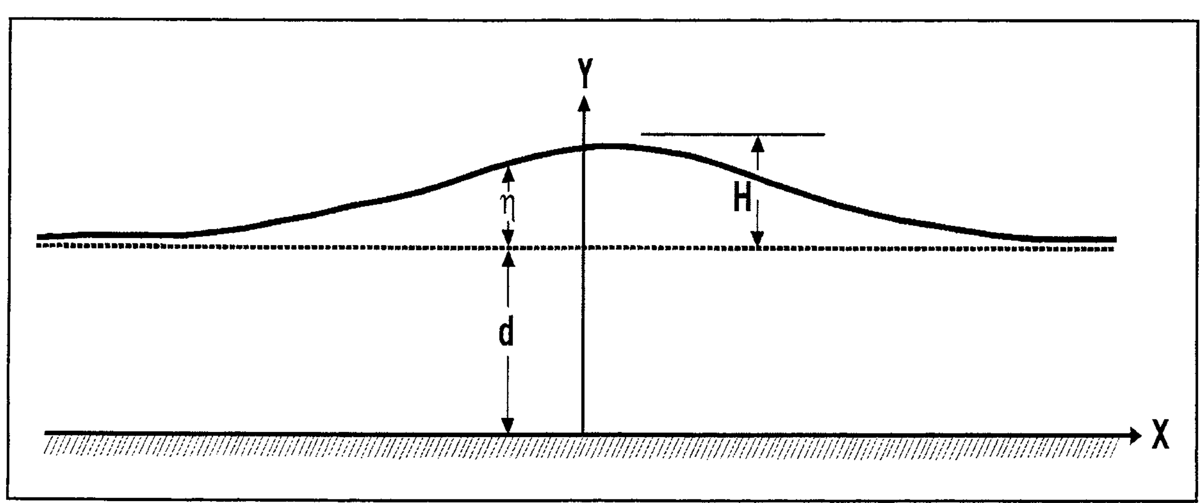
$$E = \rho g d^3 \left(\frac{4H}{3d}\right)^{3/2} \tag{1-25}$$

$$V = 4d^2 \sqrt{\frac{H}{3d}} \tag{1-26}$$

$$H_{max.} = 0.732d \tag{1-27}$$

حيث:-

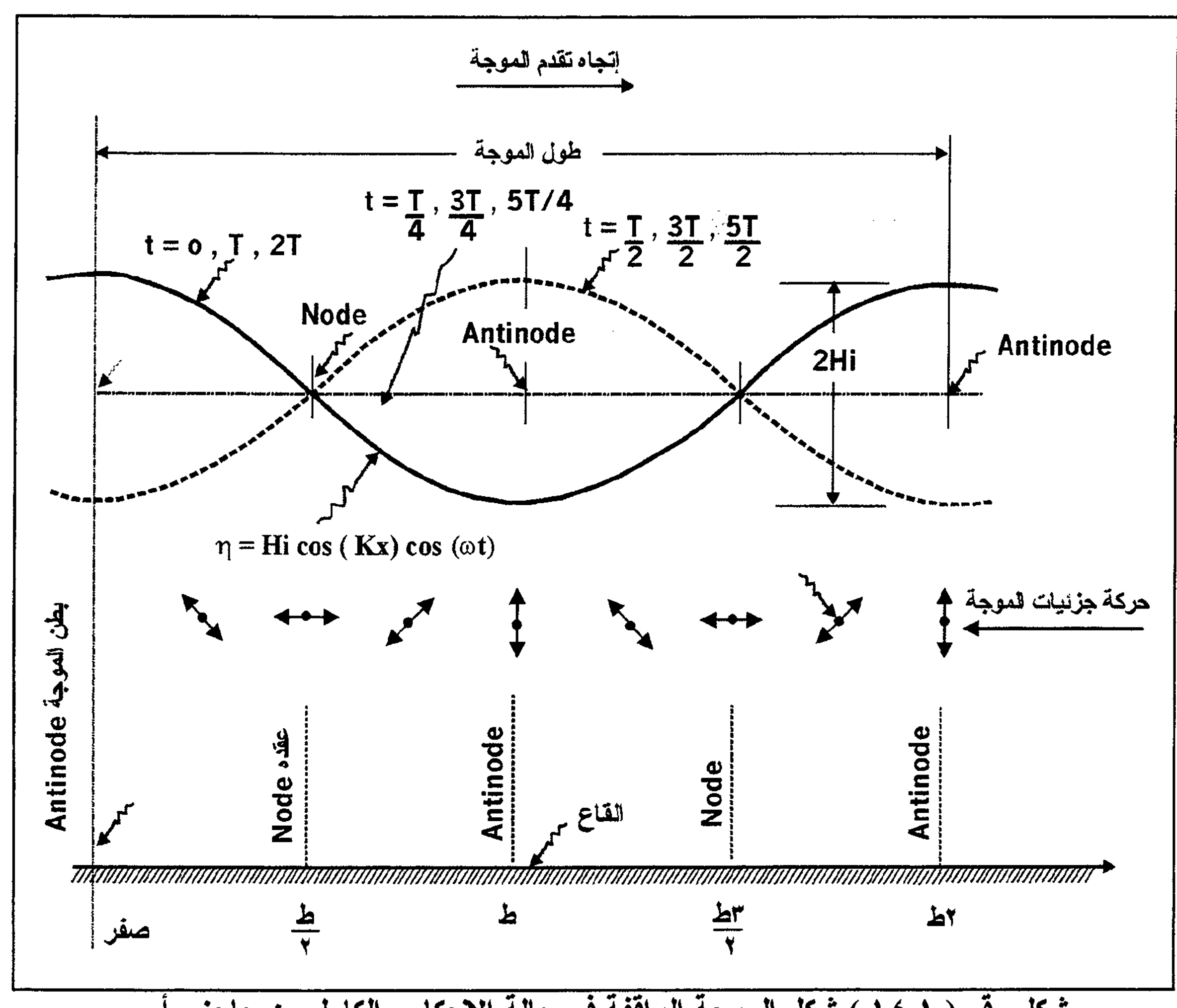
V = الحجم الكلى للمياه فوق سطح المياه الساكن/ وحدة عرض قمة الموجة فوق سطح الماء الهادئ.



شكل رقم (١-١٣) شكل موجة مفردة (Solitary)

١-٣-٣-٤ الأمواج الواقفة "Standing Waves"

عندما تتقابل موجتان أحدهما تتقدم فى اتجاه يعاكس اتجاه تقدم الأخرى ينتج عن تلاقيهما ارتفاع كمية ضخمه من الميـــاه إلى أعلى وتعـــرف هذه الظاهرة بالأمواج القائمـة أو الواقفة. ويوضح الشـــكل رقم (١-١٤) كروكي لهذه الموجه ويتم تعيين خصائص الموجه الناتجة من التقابل من المعادلات التالية:-



شكل رقم (١-١٤) شكل الموجة الواقفة فى حالة الإنعكاس الكامل من حاجز رأسى

$$\eta = H\cos(kx)\cos(\omega t) \tag{1-28}$$

$$U = H\frac{gT}{L}\frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)}\cos(kx)\cos(\omega t) \tag{1-29}$$

$$W = -H\frac{gT}{L}\frac{\sinh[k(z+d)]}{\sinh(kd)}\sin(kx)\cos(\omega t) \tag{1-30}$$

ويلاحظ أن:-

(١) قيمة المركبة الأفقية لسرعة جزئيات المياه "U" تساوى صفر عند قيم $(x = \frac{n\pi}{k})$ حيث $(n = 0,1,2,\ldots)$ بينما تكون المركبة الرأسية لسرعة جزئيات المياه "W" تمثل أقصى قيمة عند تلك القيم.

(٢) قيمة المركبة الأفقية لسرعة جزئيات المياه "U" تساوي أقصى قيمه عند قيم $x = ((\frac{2n+1}{2})\frac{\pi}{k})$ بينما تكون قيمة المركبة الرأسية لسرعة جزئيات المياه W تساوى صفر.

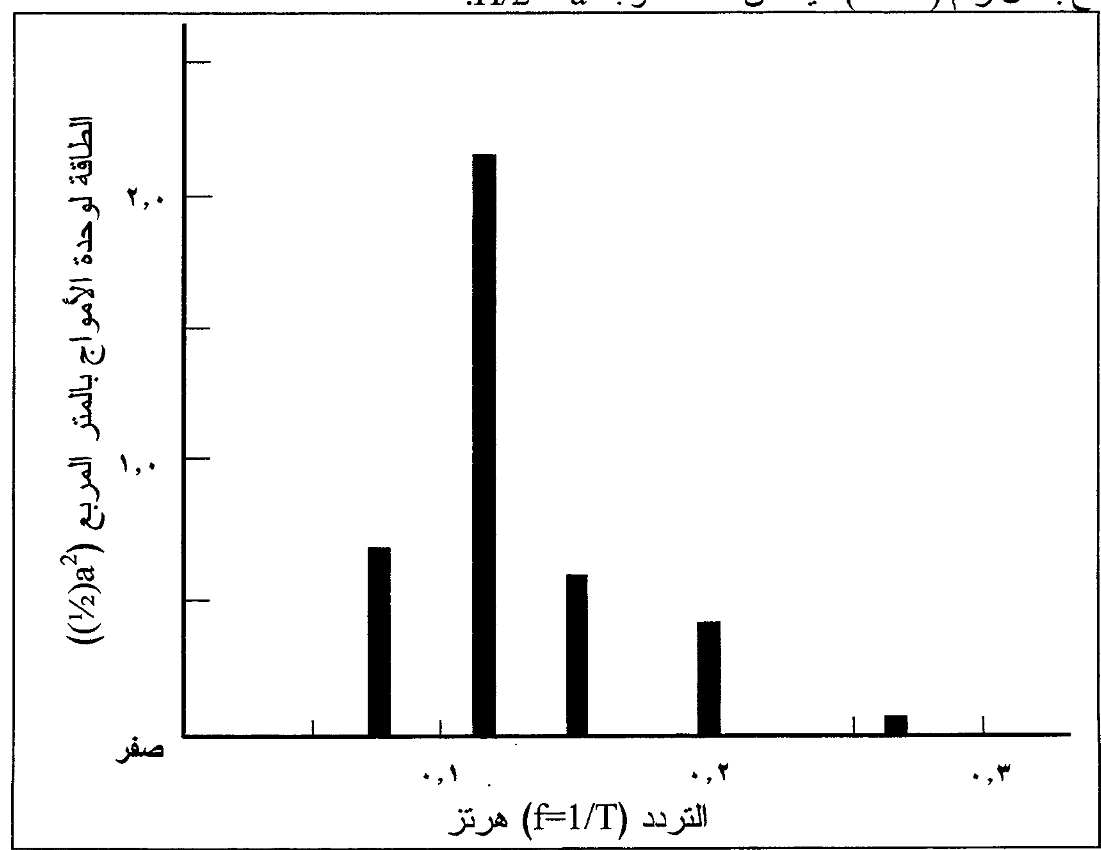
١-٣-٤ التوزيع الطيفي للأمواج "Spectra of Sea Waves"

١-٣-٤-١ التوزيع الطيفي الترددي "Frequency Spectrum"

أساس نظرية التوزيع الطيفي لأمواج البحر تعزى إلى نظرية التحليل الطيفي للضوء والتي مفادها أن الضوء الأبيض يحتوى على عدد من مركبات ضوئية ذات ألوان مختلفة (موجات ضوئية بأطوال مختلفة). وعلى هذا فان أمواج البحر الغير منتظمة يمكن اعتبارها حصيلة جمع جبري ومتجه لعدد غير محدد من مركبات قطارات أمواج مندمجة ذات ترددات واتجاهات مختلفة. وبناء على هذا التصور فانه يمكن تعريف التوزيع الطيفي الترددي (Frequency Spectrum) بأنه ناتج توقيع محتوى طاقة قطارات الأمواج مع التردد بغض النظر عن اتجاهات قطارات الأمواج المندمجة.

وفى الطبيعة (قرب المنطقة الشاطئية) قد نلاحظ أن الأمواج المتقدمة من مكان إلى آخر لها اتجاه غالب أو سائد وقد يختلف هذا الاتجاه من فتره زمنية إلى أخرى. ولهذا فانه من الضروري للتعرف على الصورة الحقيقية لخصائص الأمواج فى مكان ما أن يؤخذ فى الاعتبار اتجاهات قطارات الأمواج، وقد أتاحت لنا نظرية التوزيع الطيفي للأمواج إضافة هذه الخاصية عند القيام بتوقيع طاقة الأمواج كعلاقة بين الاتجاه والتردد وهو ما يعرف بالتوزيع الطيفي المتجه (Directional Wave Spectrum).

كما أتاحت لنا نظرية التوزيع الطيفي للأمواج إمكانية معرفة توزيع طاقة الأمواج فى مكان ما مع الترددات السائدة. ومن أبسط الوسائل للتعرف على هذا التوزيع هو توقيع "a^2" $(\text{Wave Amplitude})^2$ مع التردد لكل موجه منفردة على شكل أعمدة بيانيه Histogram وكما هو موضح بشكل رقم (١-١٥) حيث أن سعة الموجة $a = H/2$.



شكل رقم (١-١٥) العلاقة بين التردد ومربع (η)

ومن البديهي أن دقة البيانات المستخلصة من مثل هذا التوقيع تعتمد فى المقام الأول على قيمة وحدة تقسيم الترددات والتي يستحيل عمليا تقليلها عن ١ر٠ هرتز فى الطبيعة ونظرا لوجود عدد لانهائي من الترددات المكونة لقطار الأمواج فانه يمكن الحصول على منحنى مستمر يمثل توزيع طاقة الأمواج من الترددات المختلفة. وهذا المنحنى المستمر يسمى " Frequency Spectral Density Function " وله وحدات(م٢ثانيه) بحيث تصير المساحة المحصورة بين المنحنى والمحور الأفقي تمثل طاقة الأمواج التي يحتويها قطار الأمواج. ويمثل شكل (١-١٦) مثال لمنحنى التوزيع الطيفي الترددي لقطار أمواج والذي يمكن منه استنباط ارتفاع الموجه المكافئ (المميزة) $H_{1/3}$. وزمن تردد الموجة المتوسط "$\bar{T}$" كما سيتم شرحه في بند ١-٣-٤-٣.

ويتضح من الشكل (١-١٦) أن طاقة الأمواج موزعه بين نطاق تردد من ٠٥ر٠ إلى ٤٠ر٠ هرتز أو بمعنى آخر ما بين زمن موجة ٢٠ ث إلى ٥ر٢ ث هذا بالرغم من أن زمن الموجه المكافئ لقطار الأمواج هو ٨ ث . كما أن اتباع طريقه التوزيع الطيفي الترددي للأمواج يتيح لنا الحصول على معرفة الزمن أو التردد لقطار الأمواج الذي يحتوى على اكثر تركيز لطاقة الأمواج "T_p" وما يترتب على معرفته من فوائد جمة فى تصميم وتخطيط المنشآت البحرية. ومن الشكل (١-١٦) يمكن بوضوح معرفة زمن الموجه المحتوى على اكثر تركيز للطاقة (T_p) وهو حوالي ١٢ر٠ هرتز أو ٣٣ر٨ ث.

ومن خلال التحليل الطيفي لعدد كبير من عينات تمثل الأمواج فى أماكن عديدة من العالم قد أمكن تحديد خصائص التوزيع الطيفي للأمواج. وفى حالة البحر المشبع بالأمواج المولدة بتأثير الرياح "Fully Developed Wind Waves" أمكن تمثيل التوزيع الطيفي للأمواج بواسطة المعادلة القياسية التالية:-

$$S(f) = 0.257(H_{1/3})^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3} f)^{-4}] \qquad (1\text{-}31)$$

حيث:-

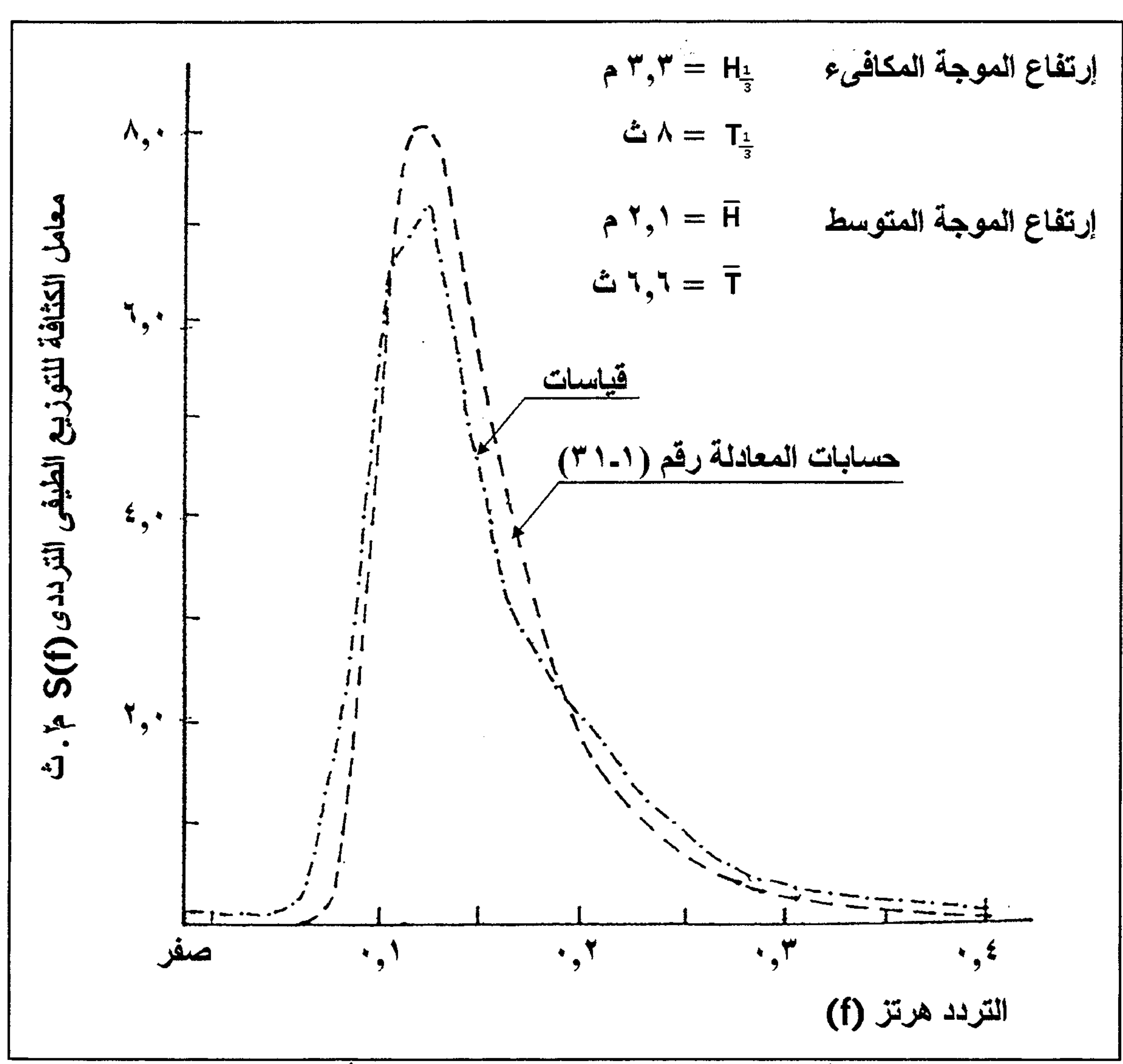
S(f) يمثل الخط المتقطع فى الشكل (١-١٦) الموقع من المعادلة القياسية للتوزيع الطيفي والموضحة فى المعادلة (١-٣١) آخذا فى الاعتبار الارتفاع والتردد المكافئ للموجة.

ومن الشكل (١-١٦) يلاحظ بعض الفروق بين منحنى التوزيع الطيفي للأمواج الناتج من القياسات الحقلية وبين منحنى التوزيع الطيفي الناتج من تطبيق المعادلة القياسية رقم (١-٣١) وهذه الفروق ناتجة من تأثير ضحولة الأعماق نتيجة لقياس الأمواج فى عمق حوالي ١١ متر . وبالرغم من وجود هذا الاختلاف فانه يمكن اعتبار المعادلة القياسية تمثل التوزيع الطيفي الترددي للأمواج بصوره مرضية.

والمعادلة القياسية للتوزيع الطيفي الترددي للأمواج معادلة رقم (١-٣١) قد تم وضعها بناء على الأبحاث التي قام بها بريتشنيدر"Bretschneider" مع تعديل المعاملات طبقا لأبحاث ماتسياتسو (Mitsuyasu) وهاسلمان (Hasselmann) وأوشى وهابل (Ochi and Hubble) ..... وغيرهم.

و قد قام كل من بيرسون وموسكوفيتز Pierson and Moskowitz باستنتاج معادلة لحساب قيمة ارتفاعات الأمواج من قياسات سرعة الرياح التي تؤثر على مساحة مائية محدده ، بحيث يمكن تحويلها إلى صوره تعادل المعادلة القياسية إذا ما أدخل فيها معاملات تحتوى على ارتفاع وتردد الموجة. وقد تمكن هاسلمان بواسطة الاعتماد على قياسات ارتباط ارتفاع الموجه وترددها فى بحر الشمال (Joint Wave Observation Program for the North Sea – JONSWAP) من إعادة

صياغة معادلات التنبؤ بالأمواج لتتحول إلى معادلة لحساب التوزيع الطيفي الترددي للأمواج بواسطة استحداث معاملات تعتمد مباشرة على ارتفاع الموجه المكافئ والتردد المحتوى أكثر طاقه" f_p " كالآتي:-



شكل رقم (١-١٦) مثال لمنحنى التوزيع الطيفى لأمواج البحر

$$S(f) = \alpha(H_{1/3})^2 (T_p)^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(T_p f)^{-4}]\, \gamma^{\exp[(-T_p f-1)/2\delta^2]} \qquad (1\text{-}32)$$

حيث:-

$$\alpha = \frac{0.0624}{0.23 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9+\gamma)^{-1}}$$

$\delta = \delta_a \approx 0.07$ if $f \le f_p$

$\delta = \delta_b \approx 0.09$ if $f > f_p$

$\gamma = 1 \sim 7$ [3.3 as mean]

وتعرف المعادلة رقم (١-٣٢) باسم معادلة JONSWAP للتوزيع الطيفي الترددي. وكما يتضح أن معادلة JONSWAP تعتمد فى المقام الأول على معامل القمة (Peak Factor) γحيث أنه يتحكم فى مدى حدية قمة المنحنى الطيفي ، ومن الملاحظ أنه إذا وضع معامل القمة $\gamma = 1$ تصبح المعادلة رقم (١-٣٢) متماثلة مع المعادلة القياسية (١-٣١)٠ وكذلك يتضح أنه فى حالة وضع γ= ٣,٣ وهى القيمة المتوسطة لهذا المعامل فى بحر الشمال فان القيمة العظمى لكثافة التوزيع الطيفي "Spectral Density" تعادل ٢,٢ مره قيمة كثافة التوزيع الطيفي المحسوبة بواسطة المعادلة القياسية (١-٣١) بنفس قيمة ارتفاع وتردد الموجه المكافئ.

والتوزيع الطيفي الترددي الحقيقي يختلف عن المستنتج من هذه المعادلات القياسية خاصة عند وجود أمواج مدفونة طويلة الزمن (Swell) لأنه فى هذه الحالة قد يحتوى المنحنى على أكثر من قمة طبقا لتردد هذه الموجات ومدى كثافتها بالنسبة لقطار الأمواج المندمج ولهذا السبب فإن المعادلة التي عرضها كل من أوشي وهابل " Ochi and Hubble" قد تحتوى على اكثر من قمة bi-modal والتوزيع الطيفي الترددي للأمواج الطويلة بذاتها غير مؤكد حتى الآن بصوره قياسية نتيجة أن قطارات الأمواج تكون غير خالصه لاندماج أمواج الرياح فيها أثناء تقدمها من أماكن تولدها. وهذه الظاهرة قد تناولها كل من بيرسون ونيومان وجامس "Pierson, Neuman and James " في دراسة تشتت سرعة الموجات داخل قطار الأمواج حيث أن مركبات قطار الأمواج ذات التردد الصغير تتقدم أسرع من مركبات الأمواج ذات التردد العالي وقد أفادت بعض الدراسات لظاهرة تشتت السرعات "Velocity Spreading" فى حالة وجود قطارات أمواج ذات مركبات صغيره التردد بأن قيمة القمم في التوزيع الطيفي الترددي تماثل القمم عند تطبيق معادلة JONSWAP بمعامل قمة يتراوح ما بين ٨-٩ كقيمه متوسطة. ولهذا السبب فانه فى بعض الأحيان تستعمل هذه المعادلة لحساب التوزيع الطيفي الترددي للأمواج القصيرة التردد.

١-٣-٤-٢ التوزيع الطيفي لاتجاه الأمواج Directional Wave Spectra

التمثيل الحقيقي للأمواج لا يتأتى من استخدام منهج التوزيع الطيفي الترددي لأنه لا يمكن إهمال تأثير اتجاهات مركبات الأمواج المندمجة فى تكوين قطارات الأمواج. ونظرية التوزيع الطيفي لاتجاه الأمواج تم استحداثها حتى يمكن تمثيل اتجاهات المركبات المكونة للأمواج فى الطبيعة. وتعتمد هذه النظرية على إمكانية توزيع طاقة الأمواج ليس فقط فى المجال الترددي Frequency Domain ولكن أيضا بالنسبة للاتجاه (زاوية θ)، ويمكن التعبير عنها كالأتي:-

$$S(f,\theta) = S(f)G(f,\theta) \qquad (1\text{-}33)$$

حيث :-

$S(f,\theta)$ هو معامل كثافة التوزيع الطيفي الترددي أو بعبارة أبسط التوزيع الطيفي لاتجاه الأمواج.

$G(f,\theta)$ هو معامل الانتشار المتجه أو فى بعض الأحيان يطلق عليها التوزيع المتجه.

والمعامل $G(f,\theta)$ الذي يمثل التوزيع المتجه لطاقة الأمواج قد وجد أنه يختلف باختلاف التردد وهذا يتضح من وجود معامل التردد" f " كمتغير أساسي فى هذا المعامل. ومن خصائص هذا المعامل أنه ليس له وحدات قياسية ويمكن حسابه وتوصيفه بالعلاقة التالية:-

$$\int_{-\pi}^{\pi} G(f,\theta)d\theta = 1 \qquad (1\text{-}34)$$

ومع أخذ المعادلتين (١-٣٣)، (١-٣٤) فى الاعتبار يمكن القول أن التوزيع الطيفي الترددي $S(f)$ يعطى التوزيع المطلق لكثافة طاقة الأمواج بينما تعطى العلاقة $G(f,\theta)$ القيمة النسبية لطاقة الأمواج المنتشرة خلال محتوى التردد والاتجاه.

ونظرا لأن تعيين توزيع طاقة الأمواج بالنسبة للاتجاهات المختلفة هي عملية فى غاية الصعوبة إلا إذا أمكن الحصول على قياسات حقلية ذات درجة عالية من الدقة. ولهذا نجد أن عدد غير قليل من الباحثين قد حاولوا التوصل إلى معادلات قياسية لمعامل الانتشار المتجهة للأمواج بناء على عدد محدود من القياسات الحقلية.

ومن أبرز هذه المحاولات ما قام به متسوياسو "Mitsuyasu" والتي أسفرت عن تقديم العلاقة الآتية:-

$$G(f,\theta) = G_o \cos^{2S}(\theta/2) \qquad (1\text{-}35)$$

حيث:-
θ تمثل نطاق الاتجاه المحتوى على طاقة الأمواج مقاسا من الاتجاه الغالب للأمواج ويتم القياس فى اتجاه عكس عقارب الساعة.
G_o تمثل في المعادلة (١-٣٥) قيمه ثابتة تم إضافتها لتتحقق العلاقة الأساسية المذكورة فى المعادلة (١-٣٤) حيث:-

$$G_o = [\int_{\theta\,min}^{\theta\,max} \cos^{2S}(\theta/2)d\theta]^{-1} \qquad (1\text{-}36)$$

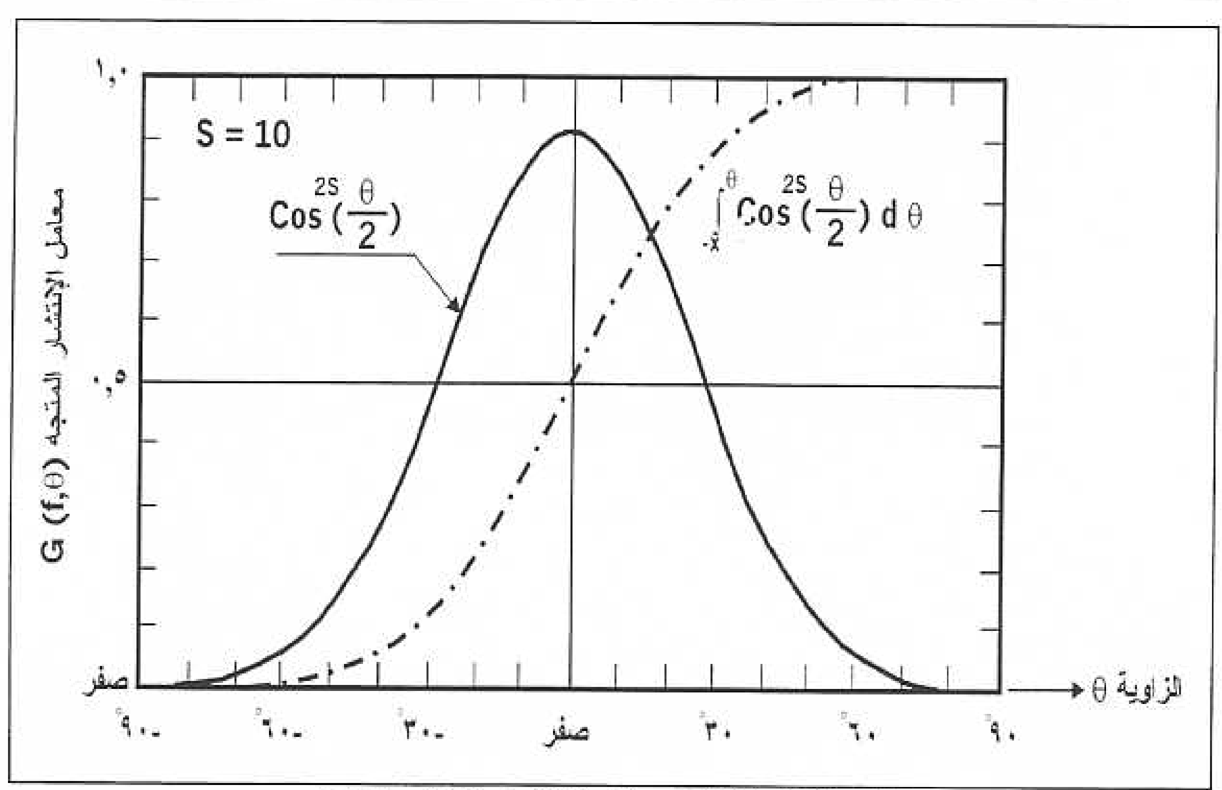
وعند وضع نهايات التكامل فى المعادلة رقم (١-٣٦) بالقيم : $\theta_{max} = \pi$, $\theta_{min} = -\pi$ والمعامل S الذي يمثل التردد - كما سوف يتضح لاحقا- فان المعادلة (١-٣٦) تصبح صورتها كالتالي:-

$$G_o = \frac{1}{\pi} 2^{2S-1} \frac{\Gamma^2(S+1)}{\Gamma(2S+1)} \qquad (1\text{-}37)$$

حيث Γ تمثل علاقة جاما "Gamma Function" وبوضع S = ١٠ كما سيتم شرحه بعد ذلك فان G_o تصبح قيمتها حوالي٩٠٣٣ر ومعامل الانتشار الطيفي المتجه عند حسابه وتوقيعه يصبح كما هو موضح بالشكل رقم (١-١٧) (الخط المستمر) كما تصبح القيمة التصاعدية لـ$G(f,\theta)$ من $\theta = -\pi/2$ إلى $\theta = \pi/2$ كما هو موضح بشكل (١-١٧) (الخط المتقطع) ومنه يتضح أن حوالي ٨٥% من قيمة طاقة الأمواج محصورة خلال نطاق $\theta = \pm 30°$.

وكما أوضح متسوياسو "Mitsuyasu" فان المعامل الذي يمثل درجة تركيز الطاقة المتجه يصل إلى أقصى قيمه له بجوار قيمة التردد الذي يحتوى على أقصى طاقه Spectral Peak وتتناقص قيمة S كلما قربت قيمة التردد من أدنى وأقصي قيمه لها.

وتمثل العلاقة التالية قيمة المعامل S كمتغير لكل من التردد(f) والتردد الذي يحتوى أقصى طاقة (f_p):



شكل رقم (١-١٧) معامل الإنتشار الطيفى المتجه

$$S = \begin{cases} S_{max}(f/f_p)^5 & \text{if} \quad f \leq f_p \\ S_{max}(f/f_p)^{2.5} & \text{if} \quad f > f_p \end{cases} \qquad (1\text{-}38)$$

وكما هو معروف فانه يمكن استنتاج قيمة "f_p" من قيمة الزمن المكافئ للموجه ($T_{1/3}$) كالتالي:-

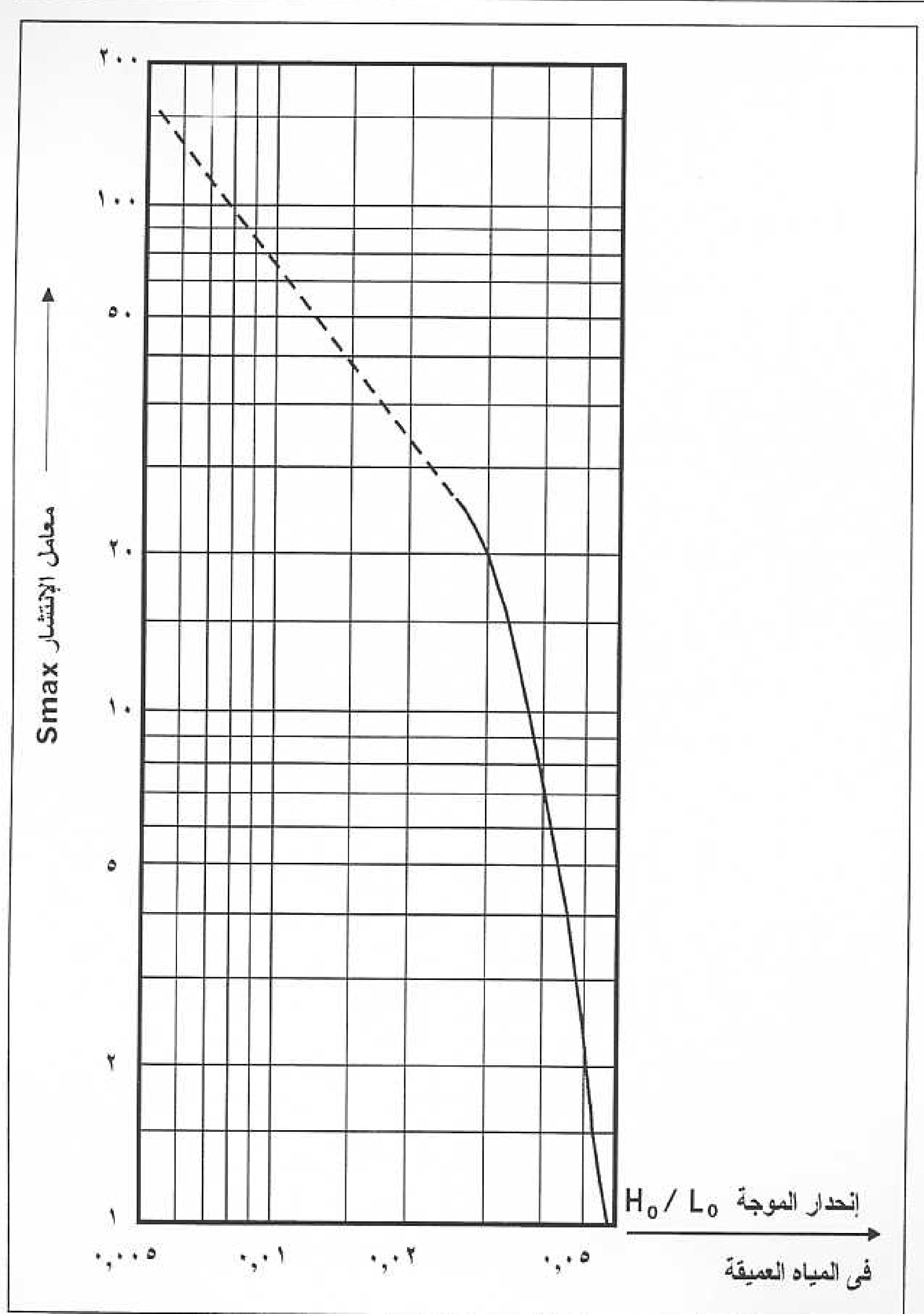
$$f_p = \frac{1}{1.05T_{1/3}} \qquad (1\text{-}39)$$

وقد أثبتت الأبحاث أن المعامل S_{max} (معامل الانتشار والتشتت Spreading Parameter) يمكن تقديره وحسابه كالآتي:-

$$S_{max} = 11.5(2\pi f_p\, U/g)^{-2.5} \qquad (1\text{-}40)$$

حيث U تمثل سرعة الرياح.

وقد قام"Wilson" من خلال أبحاثه عن تقدم الأمواج المولدة بفعل الرياح بتحليل أسباب انخفاض قيمة $(2\pi f_p\, U/g)$ إلى قيمة معامل انحدار الموجة فى المياه العميقة H_o/L_o وكما هو موضح فى شكل رقم (١-١٨).



شكل رقم (١-١٨) العلاقة بين معامل إنحدار الموجة ومعامل الإنتشار

ونتيجة لهذه الأبحاث فانه يمكن تقدير قيمة معامل الانتشار والتشتت S_{max} بالنسبة لنوع الأمواج طبقا للتردد كمايلي:-

- أمواج ناشئة عن الرياح S_{max} =١٠
- أمواج مدفونة ومعامل انحدار كبير S_{max} =٢٠
- أمواج مدفونة ومعامل انحدار صغير نسبيا S_{max} =٧٥

١-٣-٤-٣ العلاقة بين التوزيع الطيفي للأمواج وقيم خصائص الأمواج

للاستفادة العملية من حساب التوزيع الطيفي الترددي للأمواج فانه يجب صهر هذه العلاقات مجتمعه وتحديد قيم خصائص الأمواج لاستخدامها فى الأغراض المختلفة ولهذا السبب قد أجريت الكثير من الأبحاث والدراسات لتحديدها. وقد أصبح الآن فى الإمكان تقدير الارتفاع المكافئ للموجه $H_{1/3}$ من التوزيع الطيفي الترددي، وبالرجوع إلى شكل (١-١٦) فانه يتضح أن المساحة تحت المنحني (m_o) لكل من التردد (f) و كثافة التوزيع الطيفي [S (f)] ما هي إلا العلاقة التالية:-

$$m_o = \overline{\eta}^2 = \lim_{0\to\infty} \frac{1}{T} \int_o^T \eta^2 dt \qquad (1\text{-}41)$$

حيث η منسوب سطح المياه.

ويصبح فى الإمكان حسابها من جزر مربع متوسط القيمة" Root Mean Square Value" لمنسوب سطح المياه $\eta_{r.m.s.}$.

$$\eta_{r.m.s.} = \sqrt{(\overline{\eta})^2} = \sqrt{m_o} \qquad (1\text{-}42)$$

و مع أخذ توزيع رالي في الحسبان فانه يمكن استنتاج العلاقة التالية:-

$$H_{1/3} = 4.004\ \eta_{r.m.s.} = 4.00\sqrt{m_o} \qquad (1\text{-}43)$$

وبنفس المنهج التحليلي، وبواسطة النظرية الإحصائية للأمواج العشوائية فقد أمكن استنتاج العلاقة التالية:-

$$\overline{T} = \sqrt{m_o} / \sqrt{m_2} \qquad (1\text{-}44)$$

حيث:-

$$m_2 = \int_o^\infty f^2 S(f) df$$

١-٣-٥ التنبؤ بالأمواج

١-٣-٥-١ عـــــام

١- يمكن التنبؤ بارتفاع وزمن تردد أمواج المياه العميقة المتولدة بفعل الرياح باستخدام إحدى الطرق المعروفة وعلى أن يتم مقارنتها ببعض القياسات الحقلية للأمواج خلال فتره زمنية لا تقل عن شهر لتحديد دقة هذه التنبؤات.

٢- عند إجراء التنبؤ بالأمواج يلزم معرفة ما يلي:-
تحديد مجال الرياح: وهو المجال الذي تتولد فيه الأمواج ويتميز بأربع عوامل متغيرة هي: سرعة الرياح- اتجاه الرياح- مدة دوام الرياح- طول المدى على امتداد المسطح المائي فى اتجاه حركة الرياح٠ ويتم تعيين مجال الرياح طبقا لما يلي:-
أ - تجميع خرائط الأرصاد الجوية والبيانات المناخية.
ب - تعيين مدة حساب التنبؤات.
جـ - حساب انحدار الرياح من خرائط الأرصاد الجوية.
د - تقدير شدة رياح البحر السطحية باستخدام صيغه مناسبة أو بالقياسات المباشرة.
هـ - إعداد خريطة مجال الرياح٠
و - تعيين منطقه تولد الأمواج ومنطقة اضمحلالها (Damping) .

٣- للتنبؤ بالأمواج فى مجال منطقة تولدها يستخدم إما طرق الموجة المميزة أو طرق الطيف الموجي وتوجد العديد من الطرق للتنبؤ بالموجة المميزة من خرائط الأرصاد الجوية وتختلف هذه الطرق طبقا لحالة مجال الرياح (ثابت أو متحرك) وخصائص الأمواج (أمواج المياه العميقة أو المياه الضحلة) .

١-٣-٥-٢ طرق التنبؤ بخصائص الأمواج

١-٣-٥-٢-١ طريقة أس أم بي

(Sverdrup, Munk and Bretschneider) SMB

وتستخدم فى حالة مجال الرياح الثابت للتنبؤ بارتفاع وتردد الموجه المميزة فى المياه العميقة وذلك بمعلومية سرعة الرياح وفترة الدوام وطول المدى المكشوف للمسطح المائي فى اتجاه حركة الرياح. ويتم تعيين ارتفاع وتردد الموجه المميزة بيانيا من المنحنى المعطى فى الشكل رقم (١-١٩).

ولاستخدام هذا المنحنى نتتبع أولا سرعة الرياح على المحور الرأسي ونستمر معه أفقيا حتى يتقاطع مع طول المدى المكشوف الموضح على المحور الأفقي (موجة محددة بطول المدى) أو مع مدة دوام الرياح (موجة محددة بمدة الدوام) تؤخذ أيهما التي تقابل خط السرعة أولا من جهة اليسار.

ولقد تم رسم هذا المنحنى من المعادلتين التاليتين:-

$$\frac{gH_{1/3}}{U_{10}^2}=0.03[1-(1+0.004(\frac{gF}{U_{10}^2})^{1/2})^{-2}] \qquad (1\text{-}45)$$

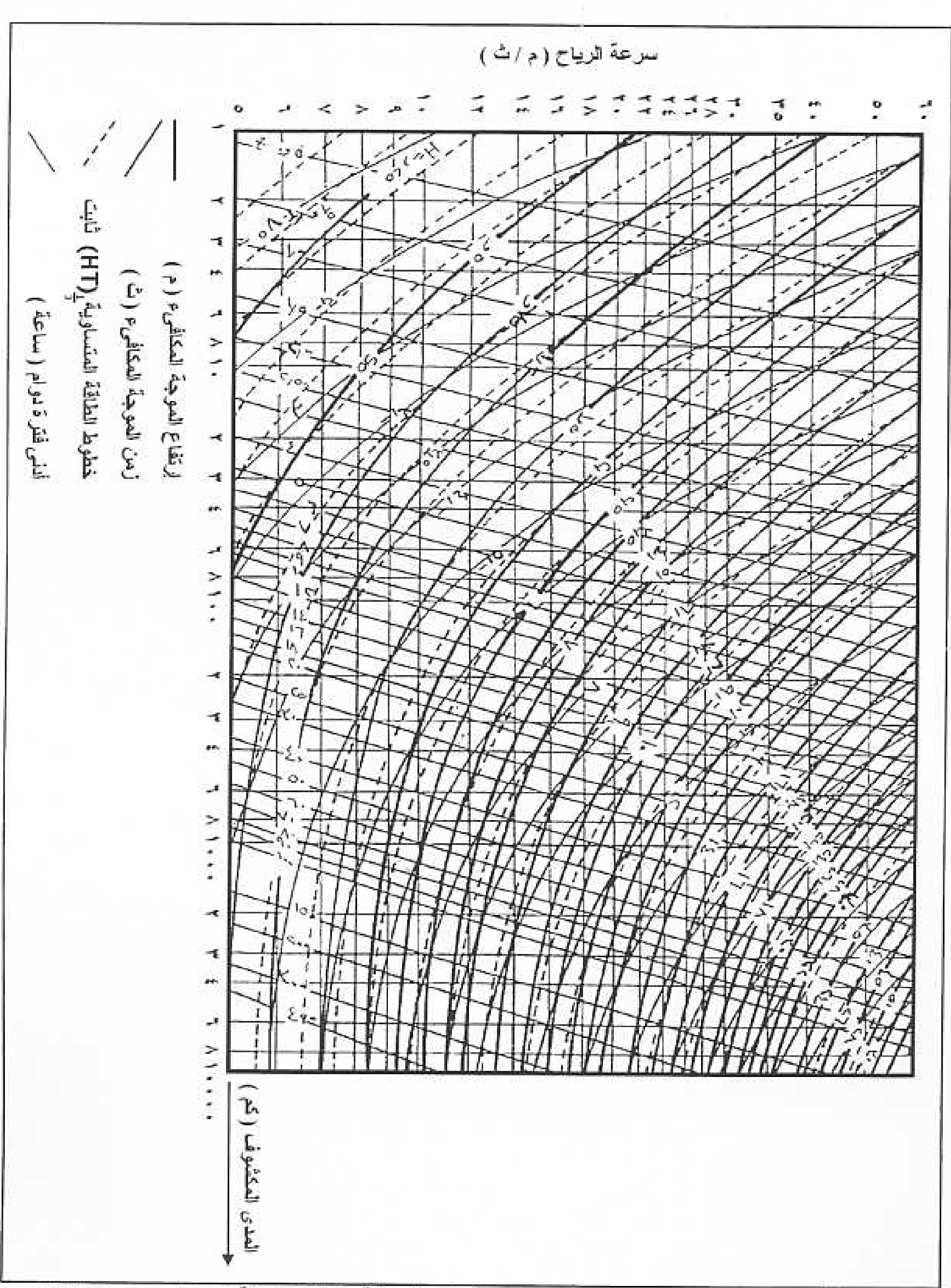
$$g\frac{T_{1/3}}{2\pi U_{10}}=1.37[1-(1+0.008(\frac{gF}{U_{10}^2})^{1/3})^{-5}] \qquad (1\text{-}46)$$

حيث:-

g : عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^{2}).

F : طول المدى المكشوف (م).

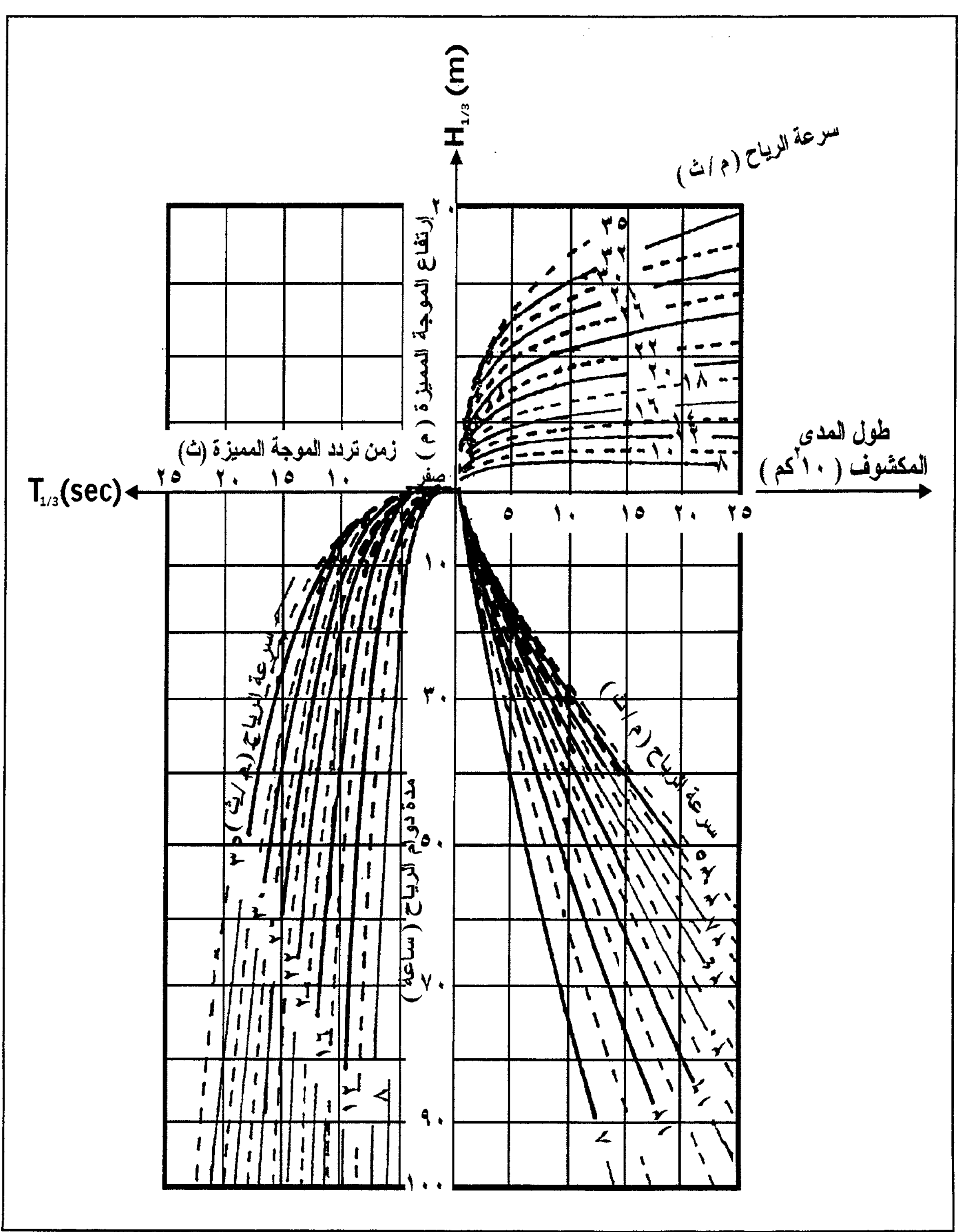
U_{10} : سرعة الرياح عند ارتفاع يساوى ١٠ متر فوق منسوب سطح البحر (م/ث).



شكل رقم (١-١٩) منحنيات التنبؤ بأمواج المياه العميقة طبقا لطريقة إس. إم. بى .SMB

١-٣-٥-٢-٢ طريقة ويلسون "Wilson's Method"

وتمثل تعديل لطريقة SMB للتنبؤ بارتفاع وتردد الموجه المميزة فى المياه العميقة فى حالة مجال رياح متحركة. ومن المنحنى الموضح بالشكل رقم (١-٢٠) يمكن تعيين خصائص الموجه المميزة.



شكل رقم (١-٢٠) منحنيات ويلسون للتنبؤ بإرتفاع وتردد الموجة المميزة فى المياه العميقة

١-٣-٥-٢-٣ طريقة بيرسون- نيومان وجيمس "Pierson, Neumann and James"(PNJ)

بناء على القياسات الحقلية للأمواج فى المياه العميقة قدم بيرسون- نيومان وجيمس (PNJ) هذه الطريقة للتنبؤ بالأمواج المتولدة فى البحر كامل التشبع. وبنيت هذه النظرية على وجود قيمه دنيا للتردد للأمواج المتـولدة بفعـل الريـاح ذات سـرعةU فـى منطقـة تولـد سـعتها (Fetch) F لمده تـأثيـر t . و قـد أطلـق نيومـان علـى قيمـة هـذا التـردد اسـم "التـردد الحـرج" "f_i" (Critical Frequency). ومنـه يمكـن حسـاب المعامـل Critical Angular Frequency $\delta_1 = 2\pi / f_i$ ويسمي التردد الدائري الحرج وهو ما تم إثبات إمكانية تعيينه بواسطة حساب قيم تعتمد علي (U,F) أو (U,t)٠ وكذلك تم إثبات أن قيمة التوزيع الطيفي الترددي لمعامل كثافة طاقة الأمواج فى المحتوى الترددي أقل من التردد الحرج ويكاد يقترب من الصفر أو هو بقيمة يمكن إهمالها. ومن هذا التحليل البسيط يمكن ملاحظة أنه توجد قيمتين للتردد الحرج إحداهما تنتج من حساب (U,F) والأخرى من (U,t) ولهذا يجب اختيار القيمة الكبرى لمعامل التردد الحرج f_i لأنه الذي يحدد مدى نمو أو تعاظم التوزيع الطيفي الترددي أكثر من القيمة الأخرى. وبناء على ما سبق فانه يمكن القول أن التوزيع الطيفي لطاقة الأمواج فى المحتوى الأكبر من القيمة الحرجة للتردد يمكن تمثيلها بواسطة معادلة نيومان للتوزيع الطيفي حيث:-

$$E(f) = (\pi/2) C f^{-6} \exp\left(-\frac{8^2}{2\pi^2} f^{-2} U^{-2}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (f \geq f_i)$$

$$E(f) = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots (f < f_i) \qquad (1\text{-}47)$$

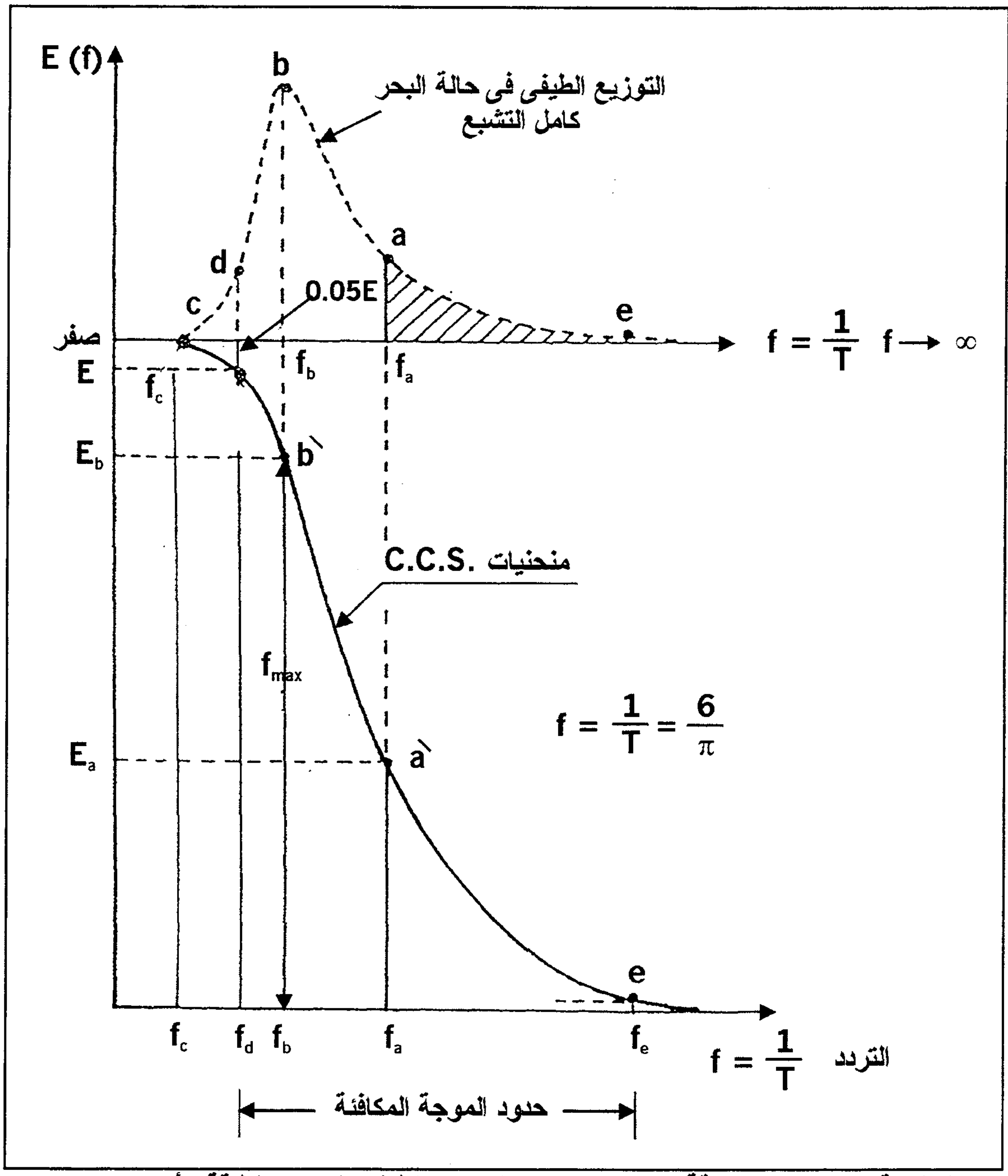
حيث C يمثل معامل يعتمد على وحدات المعادلة.

والفائدة العمـلية من حسـاب التوزيع الطيفي التـرددي لـطاقة الأمـواج التي تم اقتراحـها تكمن في أنـه وجـد مـن الأفـضـل حـسـاب التـوزيـع الطـيفي المـتنـامـي التـصـاعـدي (Co-Cumulative Spectrum) من حساب تكامل المعادلة (١-٤٧) من جانب التردد العالي حتى قيمة الصفر. ويعطى الشكل (١-٢١) المنحنى الناتج من التكامل وهو ما يسمى بمنحنى .C.C.S.

وقد تم عمل عدة منحنيات من المنحنى .C.C.S مع الأخذ في الاعتبار القيم المختلفة لسرعة الرياح كما هو موضح فى الشكل (١-٢٢) (تمثل الخطوط المتصلة قيم التردد الحرج بناء على مدة التأثير (t) بينما تمثل الخطوط المتقطعة قيم التردد الحرج بناء على مساحة منطقة التولد (F)).

ويمكن تلخيص كيفية استعمال هذه المنحنيات فيما يلي:-

بمعلومية قيمة سرعة الرياح التصميمية (U) وكذلك سعة منطقة التولد (F) وكذلك بمعلومية مـدة التأثير (t) فانه يمكن تحديد قيمتين حاكمتين (Lower Limits) من تقاطع خطوط تماثل Uو F وكذلك من تقاطع خطوط تماثل U و t بحيث يتم اختيار القيمة الحرجة للتردد والتي تمثل (Critical Frequency-f_i) وهى القيمة اليمنى (على الجانب الأيمن) وكلما قلت f زادت قيمة T حيث (f = 1/T). وبعد تحديد قيمة f فانه يمكن حساب $H_{1/3}$ أو قيمة $\sqrt{E}$ (معامل كثافة الطاقة للتوزيع الطيفي للأمواج).

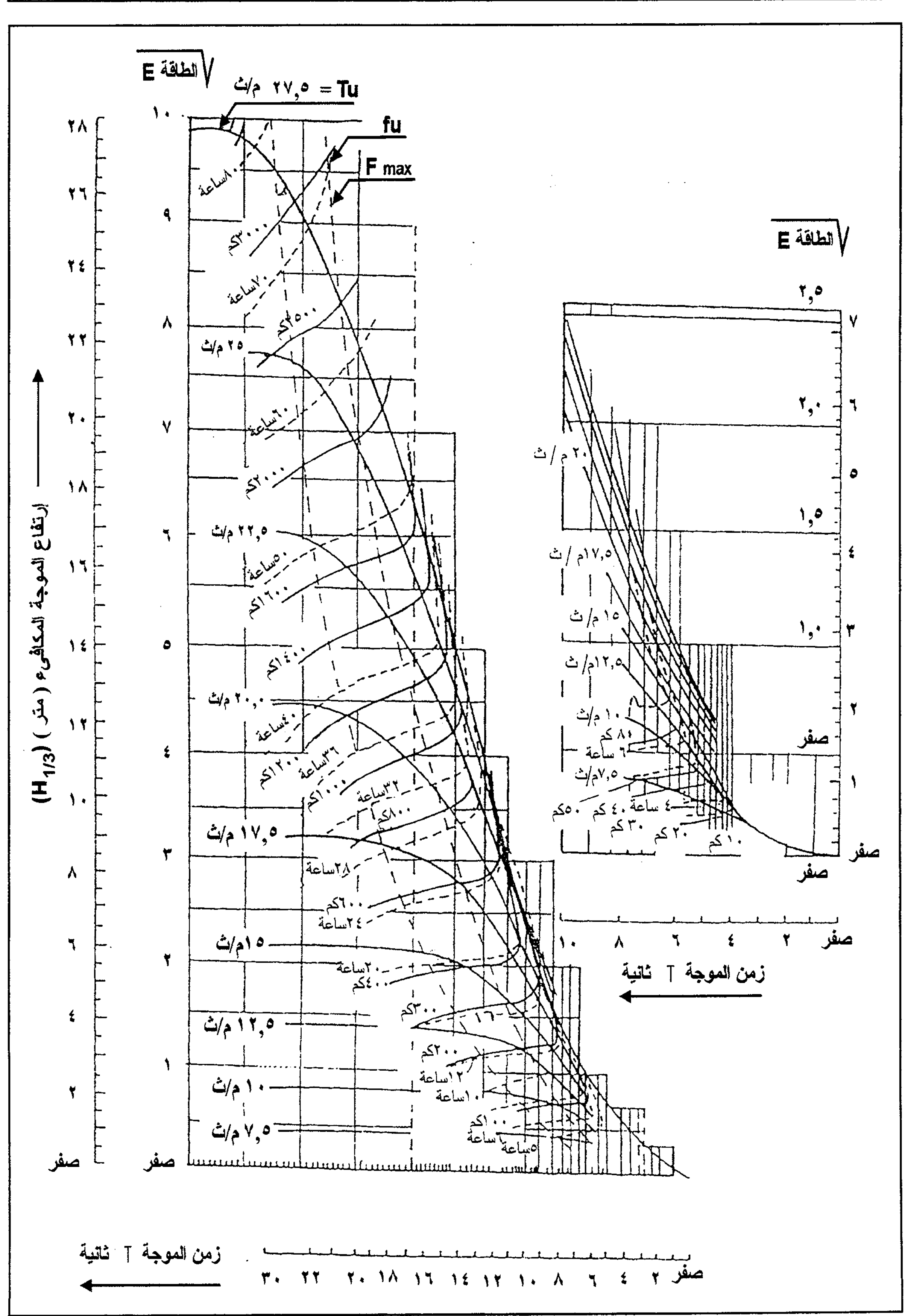


شكل رقم (١-٢١) العلاقة بين التردد (f) والتوزيع الطيفى الترددى لطاقة الأمواج E (f)

١-٣-٦ العوامل المؤثرة على خصائص الأمواج أثناء تقدمها من المياه العميقة نحو الشاطئ (التحول الموجي)

١-٣-٦-١ تأثير ضحولة القاع (ضحولة الموجة)" Shoaling "

عندما تتقدم الأمواج من المياه العميقة حيث يكون عمق القاع اكبر من نصف طول الموجة إلى المياه الأقل عمقا يحدث تغير فى خصائص الموجة من ناحية الارتفاع والطول وسرعة التقدم. وبإهمال تأثير ميل القاع فأنه يمكن استخدام نظرية الأمواج الخطية لإيجاد العلاقة بين خصائص الأمواج فى المياه العميقة والمياه الأقل عمقا.



شكل رقم (١-٢٢) منحنيات C.C.S. لقيم السرعات المختلفة للرياح

وبافتراض أن متوسط الطاقة المنتقلة فى اتجاه انتقال الأمواج عبر وحدة العرض فى وحدة الزمن "P" ثابتة فانه يمكن استنتاج المعادلات التالية:-

$$\overline{P} = \overline{P}_o \tag{1-48}$$

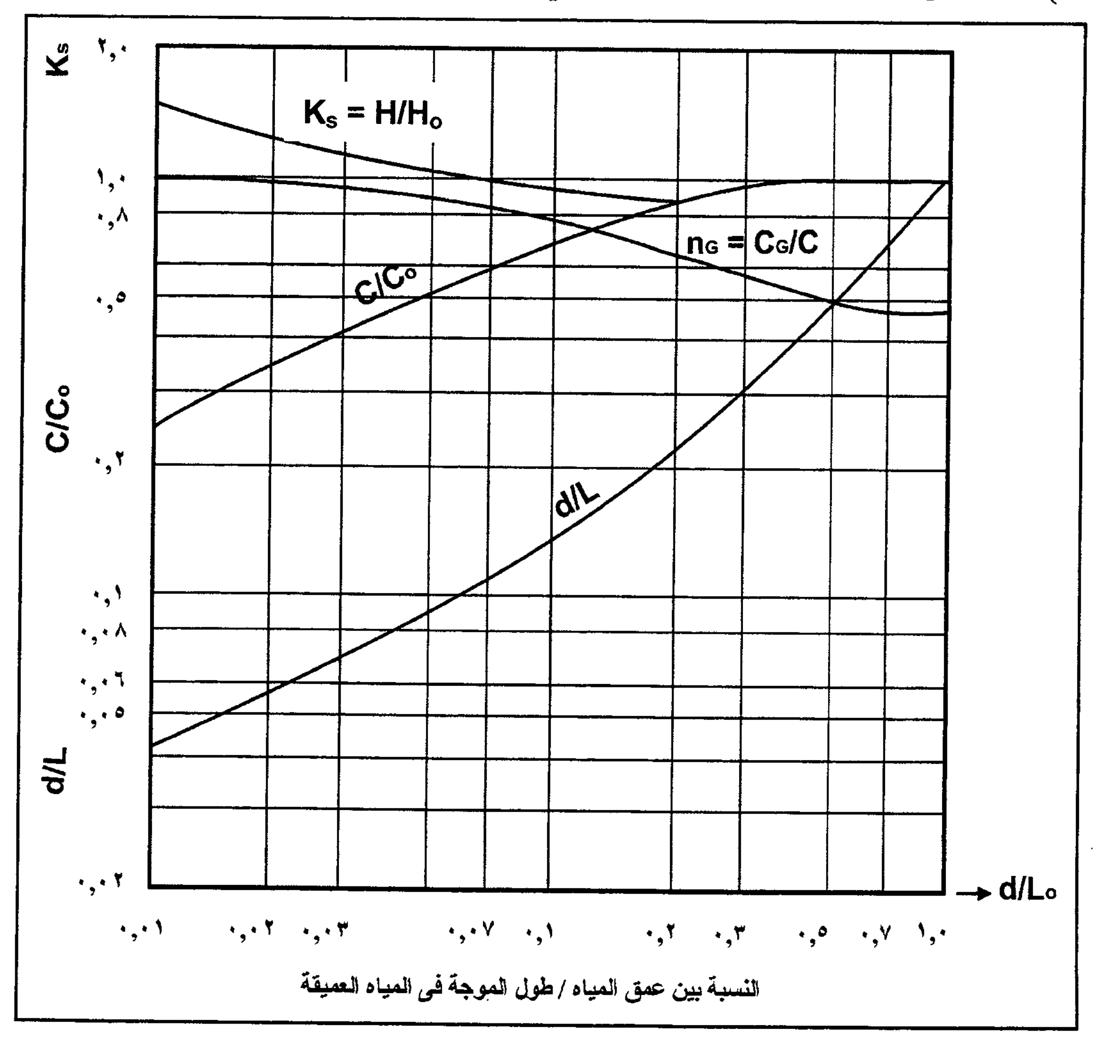
$$\overline{P} = C_g \overline{E} = Cn\overline{E} \tag{1-49}$$

$$= \frac{1}{8}\rho g H^2 Cn = \frac{1}{8}\rho g H_o^2 C_o n_o \tag{1-50}$$

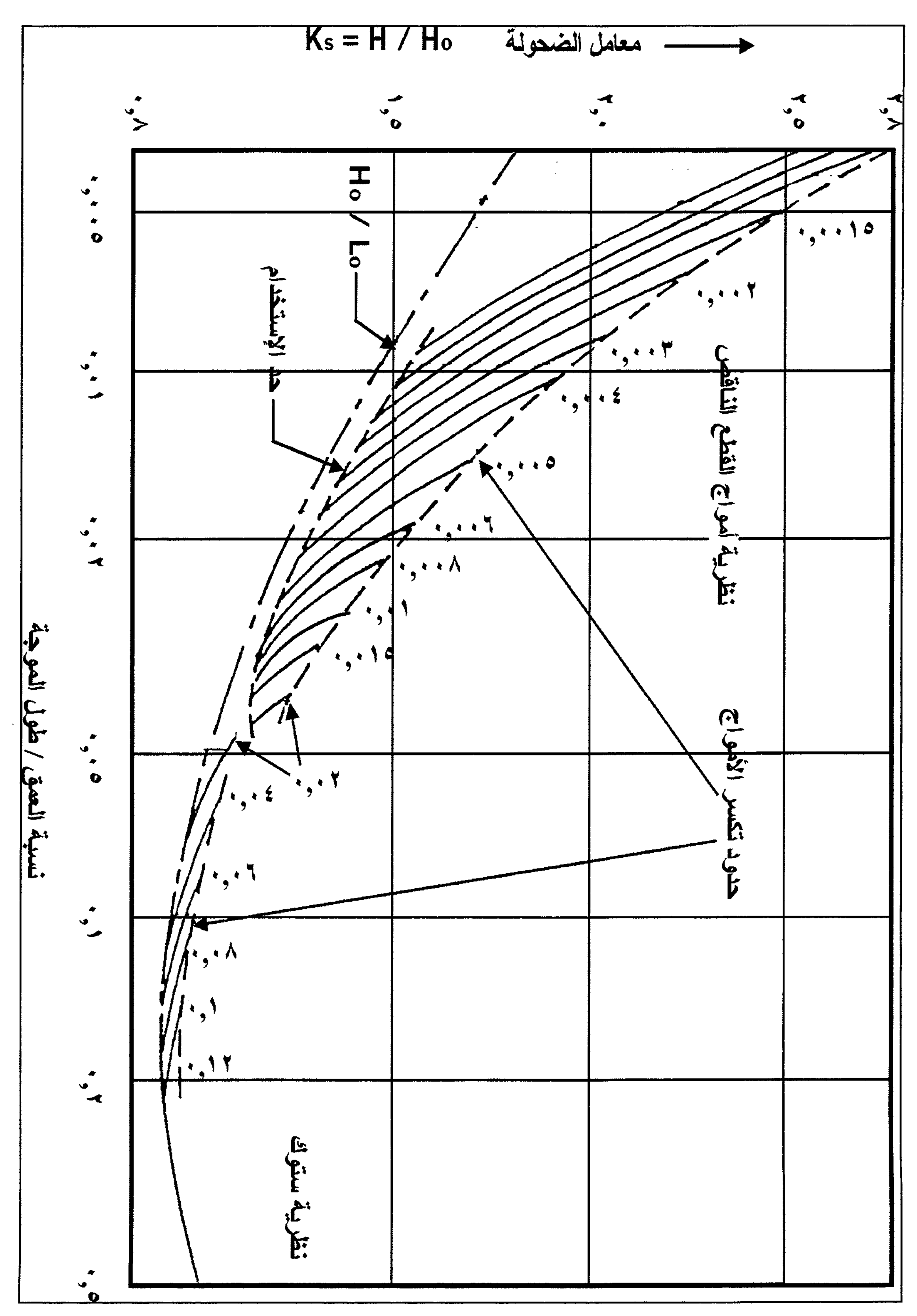
$$\frac{H}{H_o} = \sqrt{\frac{1}{2n}\frac{C_o}{C}} = K_s \tag{1-51}$$

حيث : K_s هو معامل الضحولة .

ويوضح الشكل رقم (١-٢٣) العلاقة بين معامل الضحولة والنسبة بين عمق المياه إلى طول الموجة في المياه العميقة فى الحدود التي يمكن معالجتها باستخدام نظرية الأمواج الخطية بينما يوضح الشكل رقم (١-٢٤) العلاقة فى حالة زيادة شدة الانحدار الموجي حيث لا يمكن تطبيق نظرية الأمواج الخطية.



شكل رقم (١-٢٣) خصائص الموجة فى المياه الضحلة (معامل الضحولة) طبقا لنظرية الأمواج الخطية



شكل رقم (١-٢٤) خصائص الموجة فى المياه الضحلة طبقا لنظرية الأمواج الغير خطية

١-٣-٦-٢ تأثير خشونة القاع "Bed Friction" (التضاؤل الموجي)

عندما تتقدم الأمواج يحدث تبدد للطاقة نتيجة تأثير خشونة القاع وهذا التأثير يمكن إهماله فى المياه العميقة بينما لا يمكن إهماله فى المياه الضحلة وبالتالي يحدث تضاؤل موجي Wave Height Attenuation أثناء تقدم الأمواج.

ويمكن تعيين معامل التضاؤل بسبب خشونة القاع K_f من المعادلة التالية:-

$$K_f = \frac{H_2}{H_1}[1+\frac{64}{3}\frac{\pi^3}{g^2}\frac{fH_1\Delta x}{d^2}(\frac{d}{T^2})^2\frac{K_s^2}{\sinh^3(kd)}]^{-1} \qquad (1\text{-}52)$$

$$D_f = \frac{4\pi^2}{3}\frac{\rho f H^3}{T^3 \sinh^3 kd} \qquad (1\text{-}53)$$

حيث:

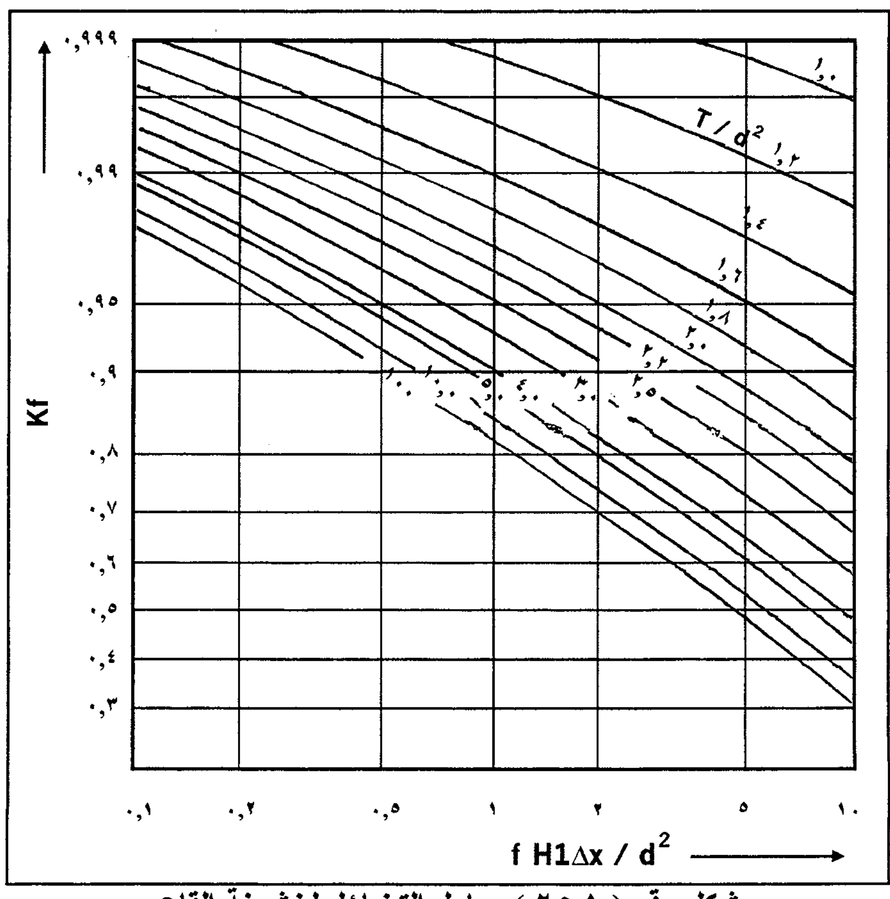
K_f : معامل التضاؤل نتيجة لخشونة القاع.

Δx : المسافة الأفقية على القاع بين ارتفاع موجة (H_1) وارتفاع موجة (H_2).

f : معامل خشونة القاع.

D_f : معامل تبدد الطاقة نتيجة للخشونة.

ويوضح الشكل رقم (١-٢٥) قيم معامل الخشونة طبقا للمعادلة (١-٥٢).



شكل رقم (١-٢٥) معامل التضاؤل لخشونة القاع

١-٣-٦-٣ تأثير قابلية التسرب "Percolation" فى التربة

عندما يكون قاع البحر مغطى بطبقه ذات نفاذية بسمك يزيد عن ٣ر٠ طول الموجه فأنه يحدث تبدد لطاقة الأمواج نتيجة حدوث تسرب فى الطبقة ذات النفاذية. ويمكن تعيين معدل تبديد الطاقة نتيجة للتسرب فى التربة من المعادلة التالية:-

$$D_p = \frac{\pi R \rho g H^2}{4L\cosh^2(kd)} \qquad (1\text{-}54)$$

حيث :-

D_p : معدل تبديد الطاقة نتيجة للتسرب / وحدة المساحات من سطح القاع فى وحدة الزمن.

R : معامل النفاذية.

١-٣-٦-٤ تأثير تغير العمق : انكسار اتجاه الموجة Wave Refraction

١- عندما تتقدم الموجة نحو الشاطئ فى أي اتجاه غير عمودي على الشاطئ فانه يلاحظ أن الموجة بالمياه العميقة يكون اتجاهها ثابتا ولكنه بعد تقدمها إلى أعماق أقل ينكسر اتجاهها تبعا لتغير عمق المياه، ويستمر هذا التغير حتى تصل الموجة إلى الشاطئ. وتعرف هذه الظاهرة بانكسار الموجة (Wave Refraction). ويرجع السبب فى ذلك إلى أن الأمواج تتقدم فى المياه العميقة بسرعات متساوية بكامل امتدادها، أما فى المياه الانتقالية والضحلة فان سرعة تقدم الأمواج على طول خط الموجة يتغير طبقا للعمق تحت الموجة فيحدث انكسار لاتجاه الموجة.

٢- يمكن استخدام قانون "اسنل" "Snell" فى تعيين معامل انكسار الأمواج المنتظمة أو الأمواج غير المنتظمة بافتراض أنها تتكون من تراكب عدد من مركبات أمواج منتظمة مختلفة الخصائص والاتجاه. ويتم تعيين معامل الانكسار إما بطريقه بيانيه أو عددية. إلا أن استخدام هذه الطريقة يمكن أن يؤدى إلى أخطاء كبيرة فى بعض المواقع خاصة داخل الموانى حيث يمكن أن يحدث بها تقاطع لعدد من الأشعة الموجية.

ويعتمد قانون "اسنل" "Snell" على المعادلة:-

$$\sin\alpha_1/\sin\alpha_2 = C_1/C_2 \qquad (1\text{-}55)$$

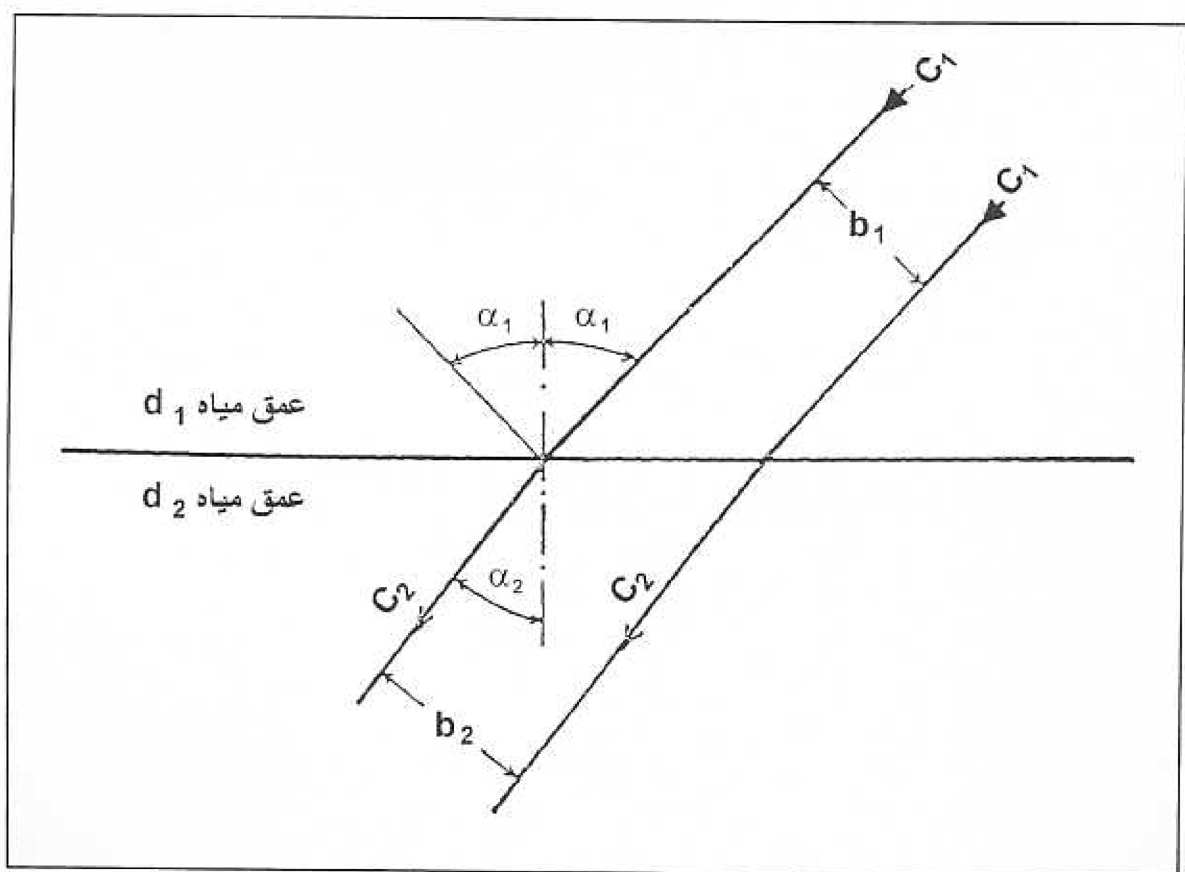
حيث:-

α_1, α_2 : هما الزاويتان المحصورتان بين قمم الأمواج المتتالية وخطوط القاع طبقا للشكل رقم (١-٢٦)٠

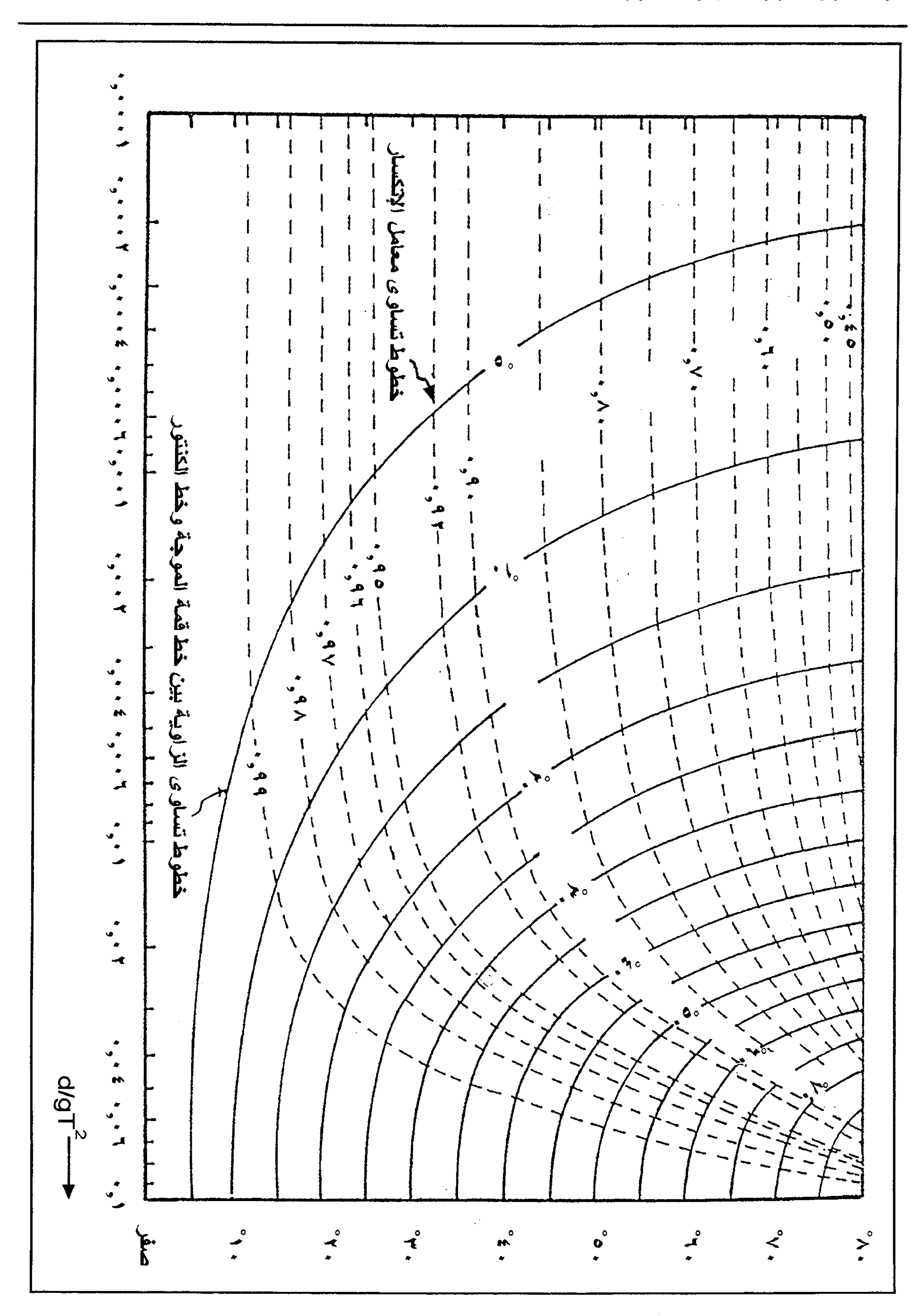
C_1, C_2 : هما السرعتان اللتان تتحرك بهما الأمواج عند الأعماق (d_1 and d_2).

ولرسم منحنيات الانكسار لأي منطقه تتبع الخطوات الآتية:-

- الحصول على خريطة كنتورية لهذه المنطقة مبينا عليها خطوط الكنتور لقاع البحر.
- إجراء تسويه لخطوط الكنتور.
- تعيين خصائص الموجه المطلوب تحديد معامل انكسارها (الموجة التصميمية)٠
- تحديد النسبة بين C/C_0 عند أي عمق d بالنسبة لزمن تردد الموجه من الجداول الخاصة بخصائص الأمواج- المعادلات الرياضية - المنحنيات - ويوضح الشكل (١-٢٧) هذه العلاقة طبقا لنظرية الأمواج الخطية.
- تتبع الخطوات الخاصة برسم منحنيات الانكسار بالطرق الموضحة في دليل حماية الشواطئ - سلاح المهندسين الأمريكي Shore Protection Manual (SPM) أو بمراجع حماية الشواطئ والخاصة لكل من حالتي زاوية α أكبر من ٨٠° أو α أصغر من ٨٠° .



يشكل رقم (١-٢٦) إنكسار إتجاه الأمواج



شكل رقم (١-٢٧) التغير فى إتجاه وإرتفاع الموجة نتيجة الإنكسار لخطوط قاع مستقيمة ومتوازية

ويوضح الشكل رقم (١-٢٨) شكل انكسار الموجة نتيجة لاختلاف شكل طبيعة القاع حيث يوضح الشكل (أ) تفرق مسار أشعة الاتجاه الموجي والشكل (ب) تجمع مسار أشعة الاتجاه الموجي.

٣- يمكن تعيين معامل الانكسار K_r بافتراض أن متوسط الطاقة المنتقلة " $\overline{P}$ " فى اتجاه انتقال الموجة فى وحدة الزمن هي كميه ثابتة.

$$\therefore \overline{P}b = \overline{P}_o b_o \qquad (1\text{-}56)$$

$$\frac{H}{H_o} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\frac{C_o}{C}}\sqrt{\frac{b_o}{b}} = K_s K_r \qquad (1\text{-}57)$$

$$K_r = \sqrt{\frac{b_o}{b}} \qquad (1\text{-}58)$$

حيث:

b : تمثل طول قمم الموجة مقاسه عموديا على اتجاه حركتها والمحصورة بين خطين متعامدين " Orthogonal" متجاورين. وبهذه الطريقة يمكن حساب معامل الانكسار وارتفاع الموجة عند أي عمق.

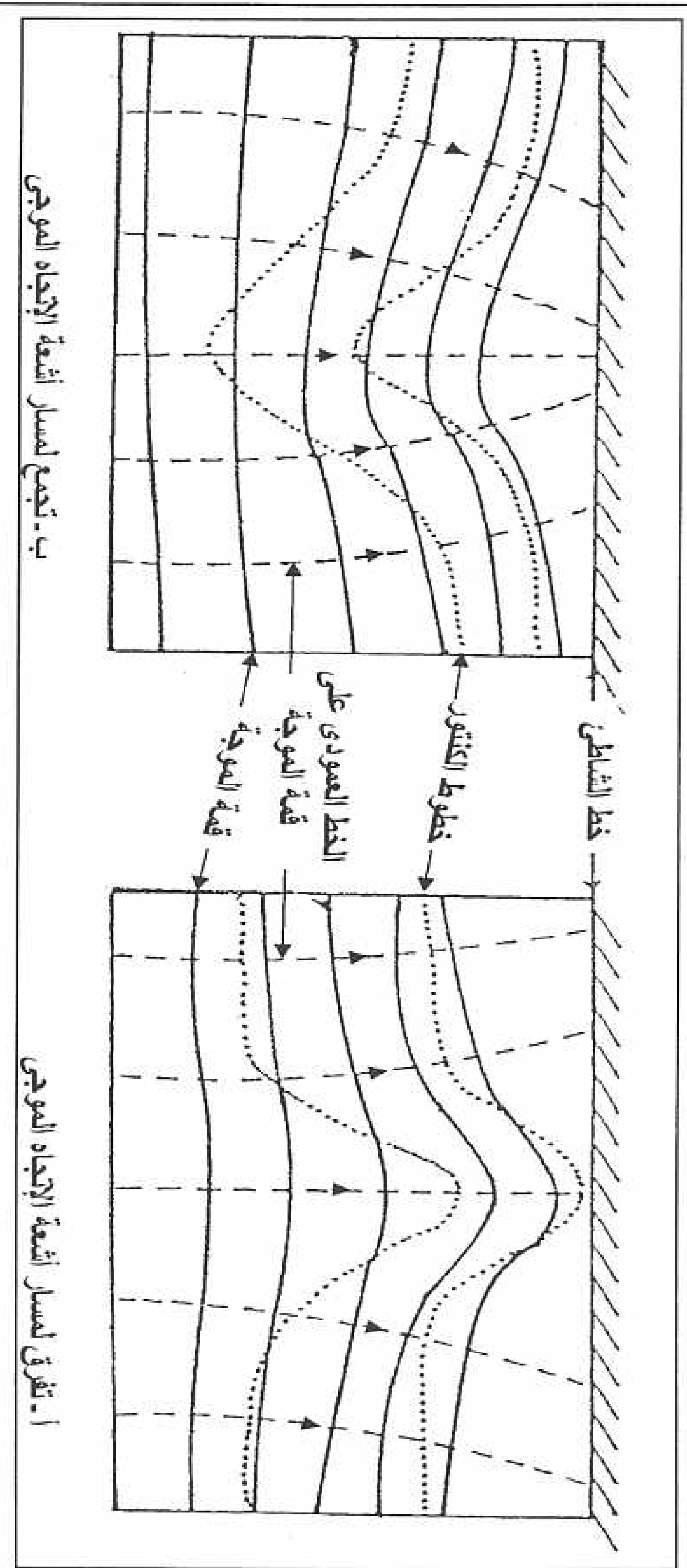
ويتم حاليا استخدام العديد من النماذج الرياضية لتعيين معامل الانكسار عند الأعماق المختلفة باستخدام طرق مختلفة لحل المعادلات التفاضلية لاتزان طاقة الموجة وكذلك لرسم منحنيات الانكسار.

٤- يتم تعيين معامل الانكسار بالنسبة للأمواج الغير منتظمة باستخدام النماذج لتراكب عدد من مركبات الأمواج المنتظمة وباستخدام نظريات الطيف الإتجاهي للأمواج، ويوضح الشكل رقم (١-٢٩) نتائج معاملات الانكسار للأمواج غير المنتظمة وذلك لمنطقة ساحلية ذات خطوط قاع متوازية لشاطئ مستقيم.

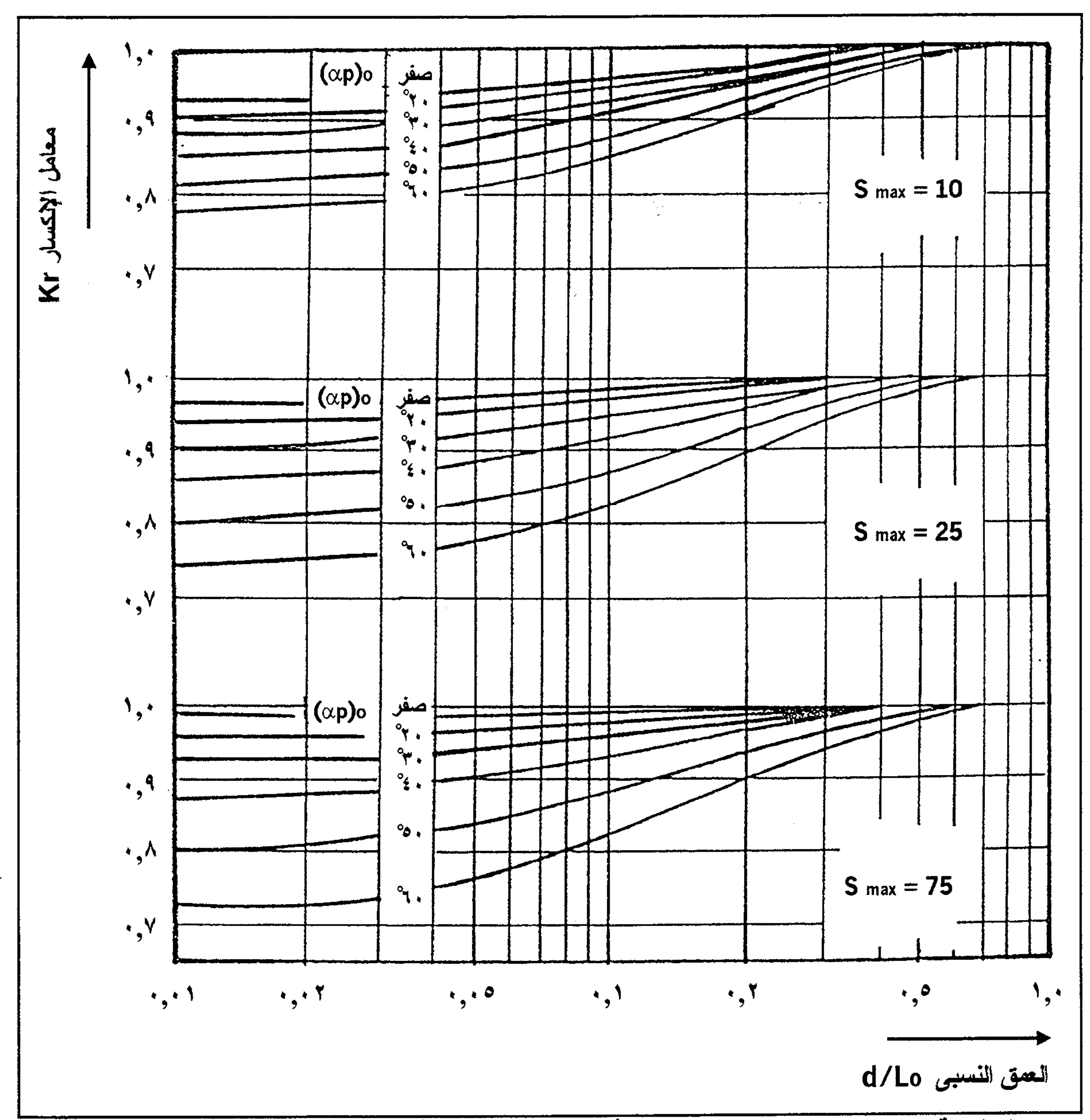
حيث رموز الشكل رقم (١-٢٩) تعنى ما يلي:-

$(\alpha_p)_o$: تمثل الزاوية الموجودة بين خطوط قمم أمواج المياه و خطوط كنتور القاع فى المنطقة البعيدة عن الشاطئ.

S_{max} : تمثل أقصى قيمه لدرجة الانتشار الإتجاهي لطاقة الأمواج وعادة تكون قيمتها تساوى "١٠" فى حالة أمواج الرياح بينما تكون قيمتها "٢٥" فى حالة الأمواج المدفونة ذات شدة انحدار موجي كبير وتساوى "٧٥" فى حالة الأمواج المدفونة ذات شدة انحدار موجي بسيط.



شكل رقم (١-٢٨) إنكسار إتجاه الموجة نتيجة لإختلاف تشكل أعماق القاع



شكل رقم (١-٢٩) معامل الإنكسار للأمواج الغير منتظمة على شاطئ مستقيم ذات خطوط كنتورية منتظمة

١-٣-٦-٥ تأثير الجزر والأعمال الصناعية على اتجاه تقدم الأمواج(انتشار الأمواج) (Wave Diffraction)

١- يحدث تغير في خصائص الأمواج نتيجة لوجود جزر أو أعمال صناعية فى مجال واتجاه تقدم الأمواج وهو ما يشكل ظاهره متعلقة بانتشار طاقة الأمواج عرضيا • على امتداد قممها. وتلاحظ هذه الظاهرة عندما يعترض حاجز أو جزيرة أو رأس تقدم مجموعة من الأمواج فتحيد عن اتجاهها وتصل المنطقة الواقعة فى الظل الهندسي للعائق عن طريق الانتشار ويترتب على ذلك أن تتناقص طاقة الأمواج المنتشرة. فإذا عرف ارتفاع الموجة المتقدمة قبل وصولها للعائق فانه يمكن حساب ارتفاع الموجة المنتشرة فى أعماق مختلفة فى المنطقة الواقعة فى ظل الحاجز بتحديد معامل الانتشار "K_d".

حيث :

$$K_d = \frac{\text{إرتفاع الموجة المنتشرة فى ظل العائق}}{\text{إرتفاع الموجه المتقدمة عند العائق}}$$ معامل الأنتشار

٢- يمكن تعيين معامل الانتشار خلف حاجز شبه لإنهائي" Semi-infinite" منفرد باستخدام منحنيات انحراف اتجاه الموجة المنتظمة الموضحة بدليل حماية الشواطئ - سلاح المهندسين الأمريكي "SPM" أو بمراجع حماية الشواطئ على أساس ما يلي:-

- افتراض أن العمق ثابت فى منطقة ظل العائق.
- تعيين طول الموجة عند عمق رأس الحاجز (L).
- تعيين زاوية سقوط الموجة مع الحاجز.
- تعيين ارتفاع الموجة عند عمق رأس الحاجز.

ويوضح الشكل رقم (١-٣٠) كروكي لمنحنى الانتشار على أبعاد أنصاف أقطار دوائر كنسبة أو كمضاعفات لطول الموجة (R/L).

٣- يمكن تعيين معامل الانتشار نتيجة لمرور موجه خلال فتحة بين حاجزي أمواج باستخدام منحنيات انحراف اتجاه الموجه المنتظمة الموضحة بدليل حماية الشواطئ - سلاح المهندسين الأمريكي "SPM" أو مراجع حماية الشواطئ وذلك بمعلومية ما يلي، وبفرض أن العمق ثابت فى منطقة ظل العائق :-

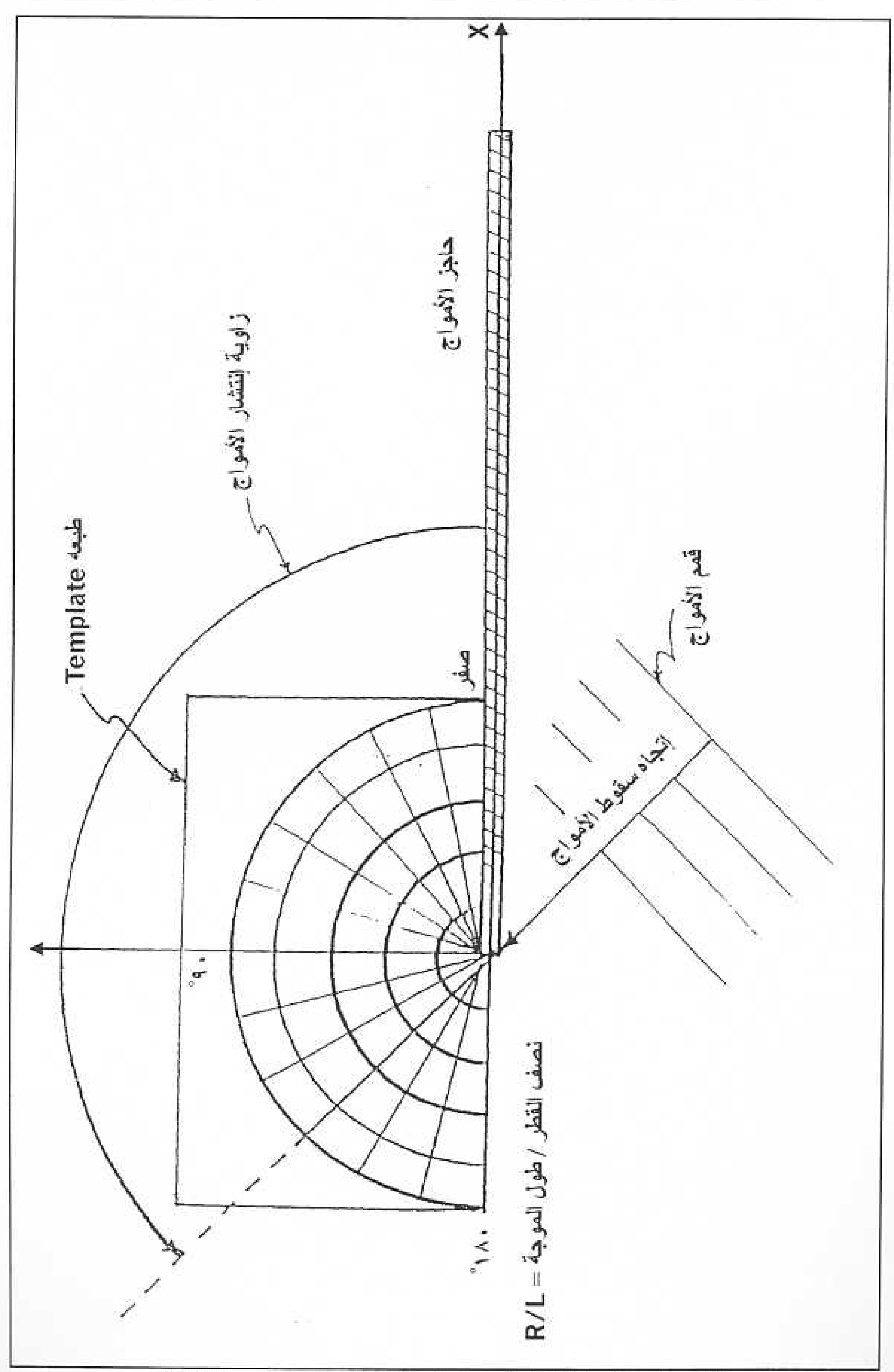
* عرض الفتحة بين حاجزي الأمواج كنسبه إلى طول الموجه عند عمق الفتحة.
* زاوية سقوط الموجة مع الحاجز.
* ارتفاع الموجة عند الفتحة.

ويوضح الشكل رقم (١-٣١) كروكي لمنحنيات الانتشار خلال فتحة بين حاجزي أمواج.

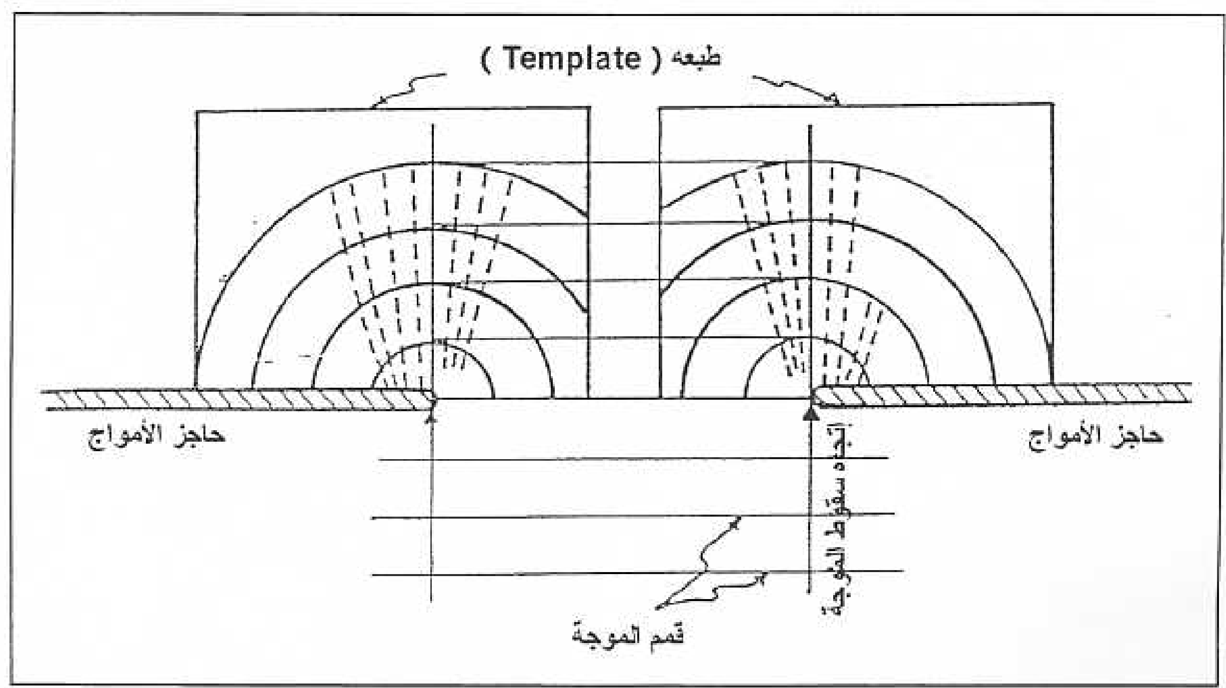
٤- فى حالة انحراف الأمواج أثناء تقدمها نتيجة لوجود عائق فان حسابات الانكسار تتم بعد تعديل ارتفاع الأمواج الناشئ عن عملية الانحراف. ويوضح الشكل (١-٣٢) كروكي لمنحنى الانحراف والانكسار.

وتوضح منحنيات الشكل رقم (١-٣٣) معامل الانتشار للأمواج العميقة غير المنتظمة لحاجز أمواج نصف لانهائي عند أقصى قيمة لدرجة الانتشار الإتجاهي لطاقة الأمواج S_{max} فى حالة أمواج الرياح $(S_{max} = 10)$ وفى حالة الأمواج المدفونة عند$(S_{max} = 75)$.

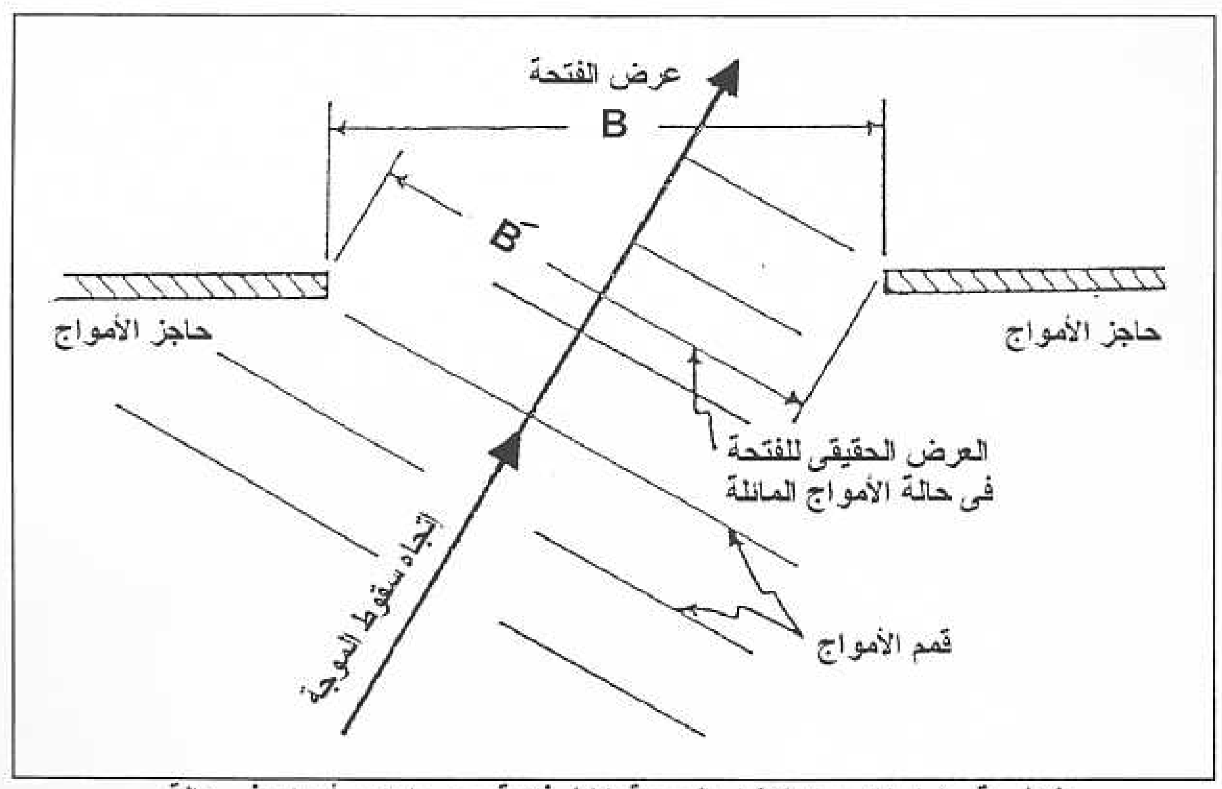
كما توضح المنحنيات من الشكل رقم (١-٣٤) إلى الشكل رقم (١-٣٧) معامل الانتشار للأمواج العميقة غير المنتظمة فى حالة وجود فتحة بين حاجزي أمواج.



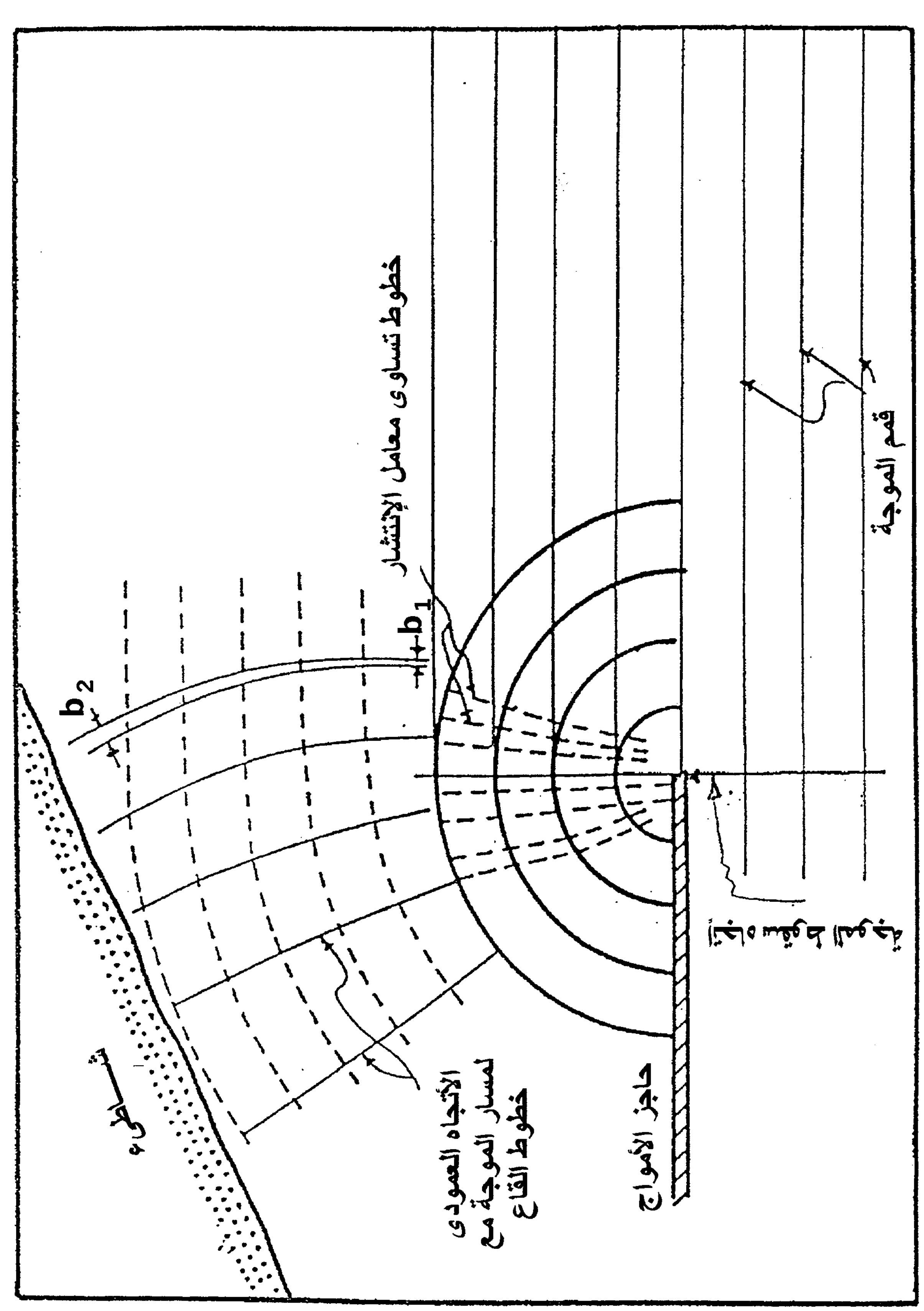
شكل رقم (١-٣٠) كروكى منحنى الإنتشار (Diffraction)



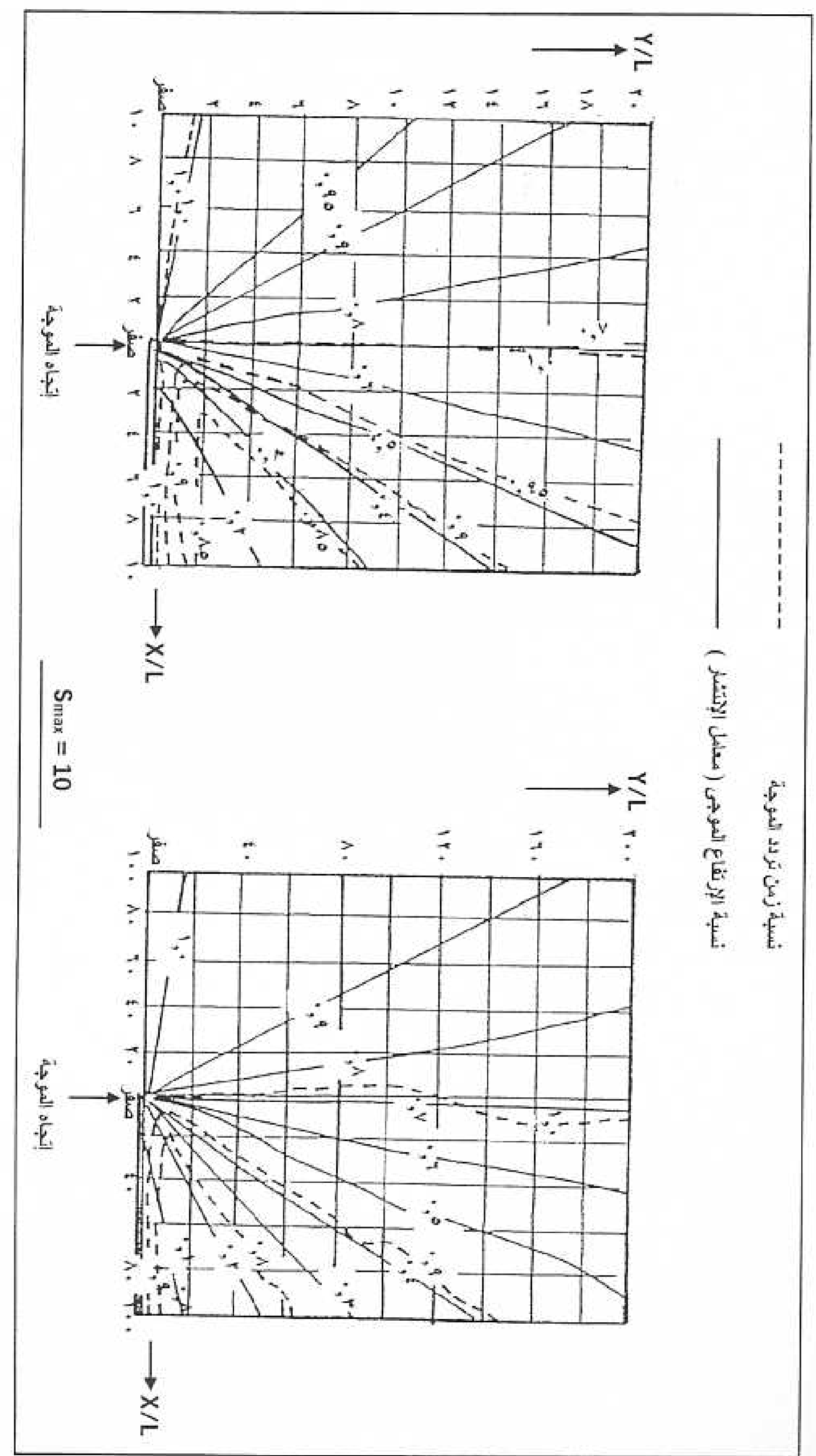
شكل رقم (١-٣١ أ) إنتشار الموجة خلال فتحة أكبر من ٥ أمثال طول الموجة
(أمواج عمودية)



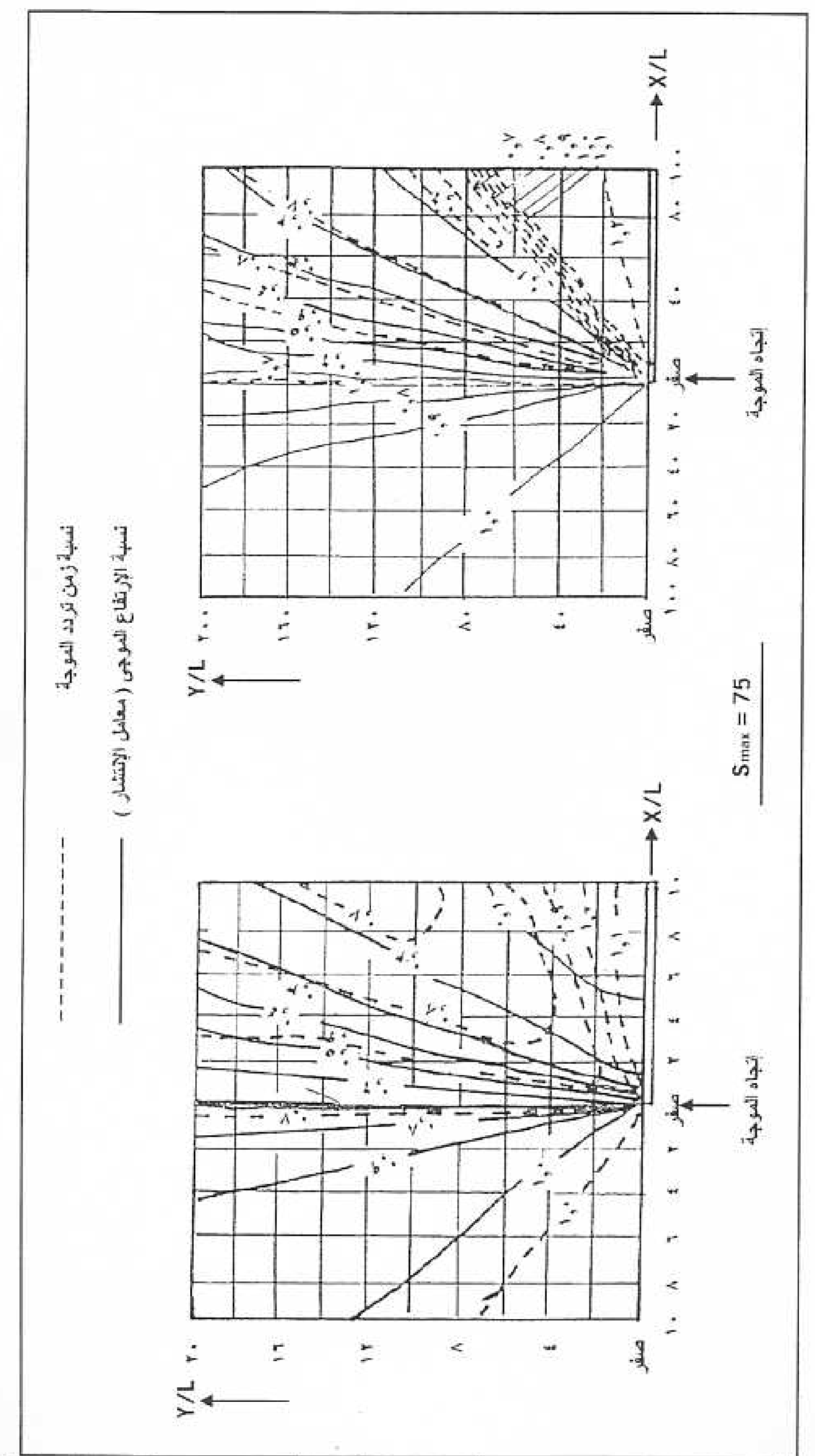
شكل رقم (١-٣١ ب) إنتشار الموجة خلال فتحة بين حاجزى أمواج فى حالة سقوط الأمواج بزاوية



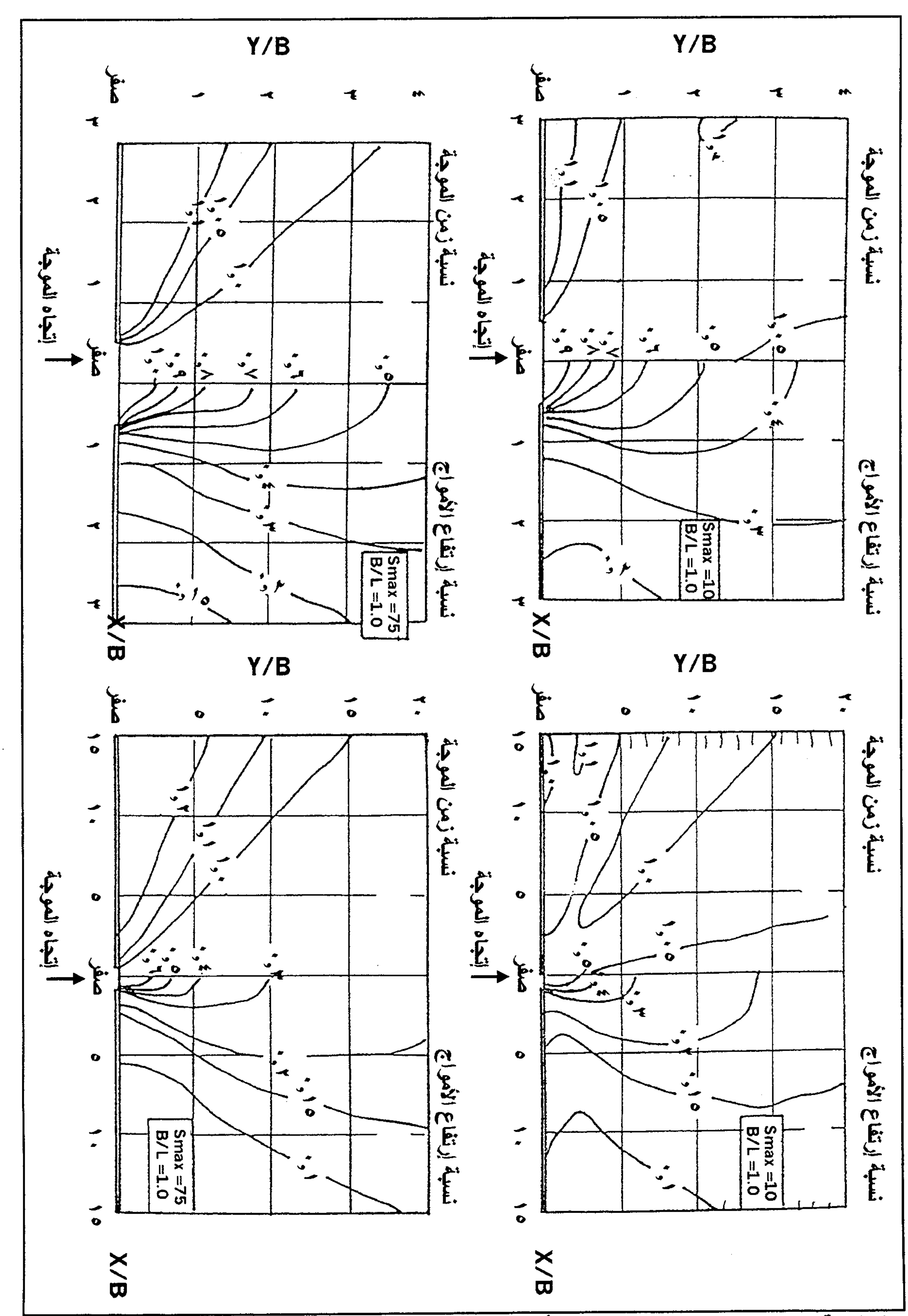
شكل رقم (١-٣٢) منحنيات الإنكسار والإنتشار للأمواج التى تتقابل مع عائق قبل وصولها إلى الشاطئ



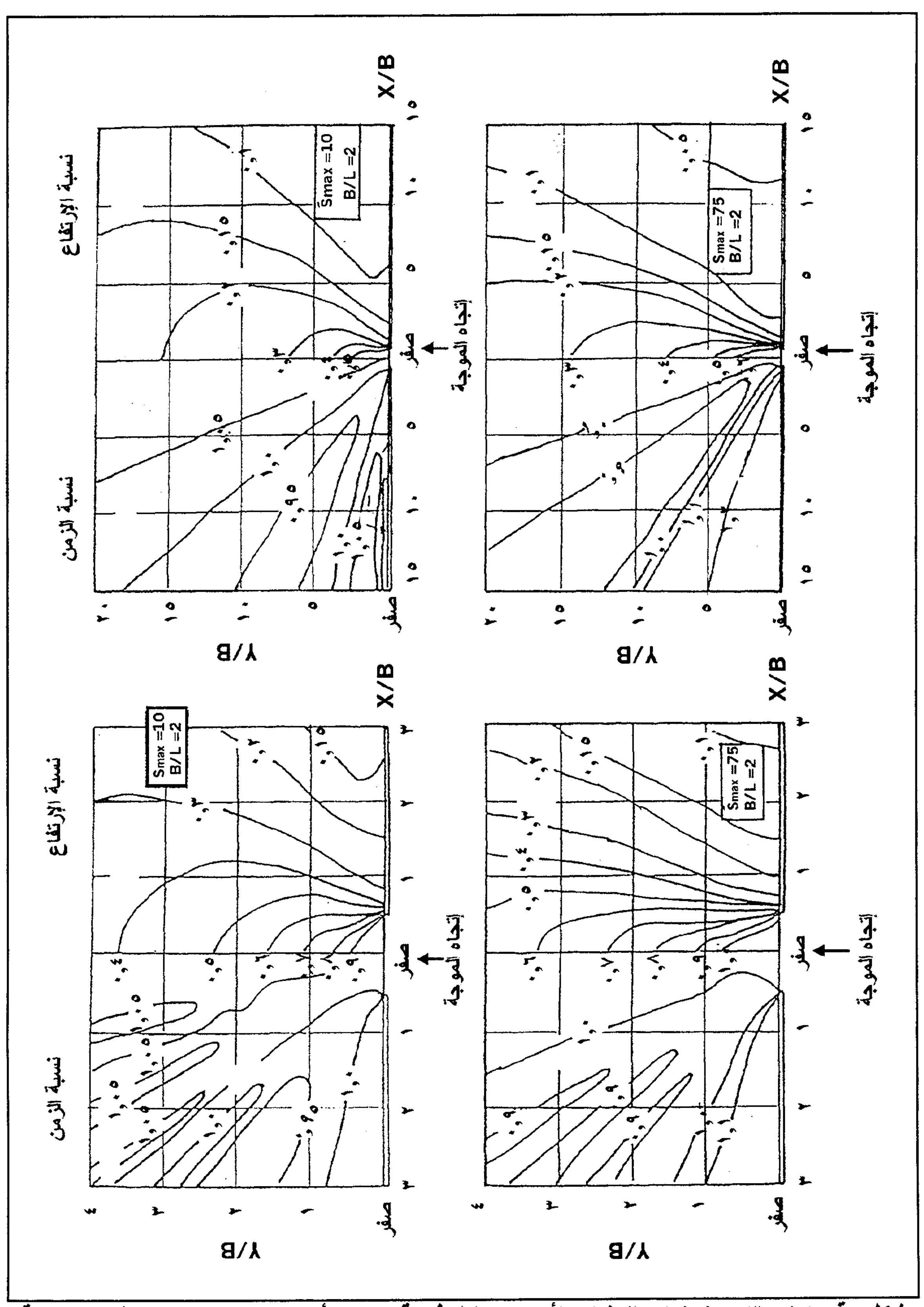
شكل رقم (١-٣٣ أ) منحنيات الإنتشار لحاجز أمواج شبه لا نهائى لأمواج غير منتظمة عمودية على الحاجز



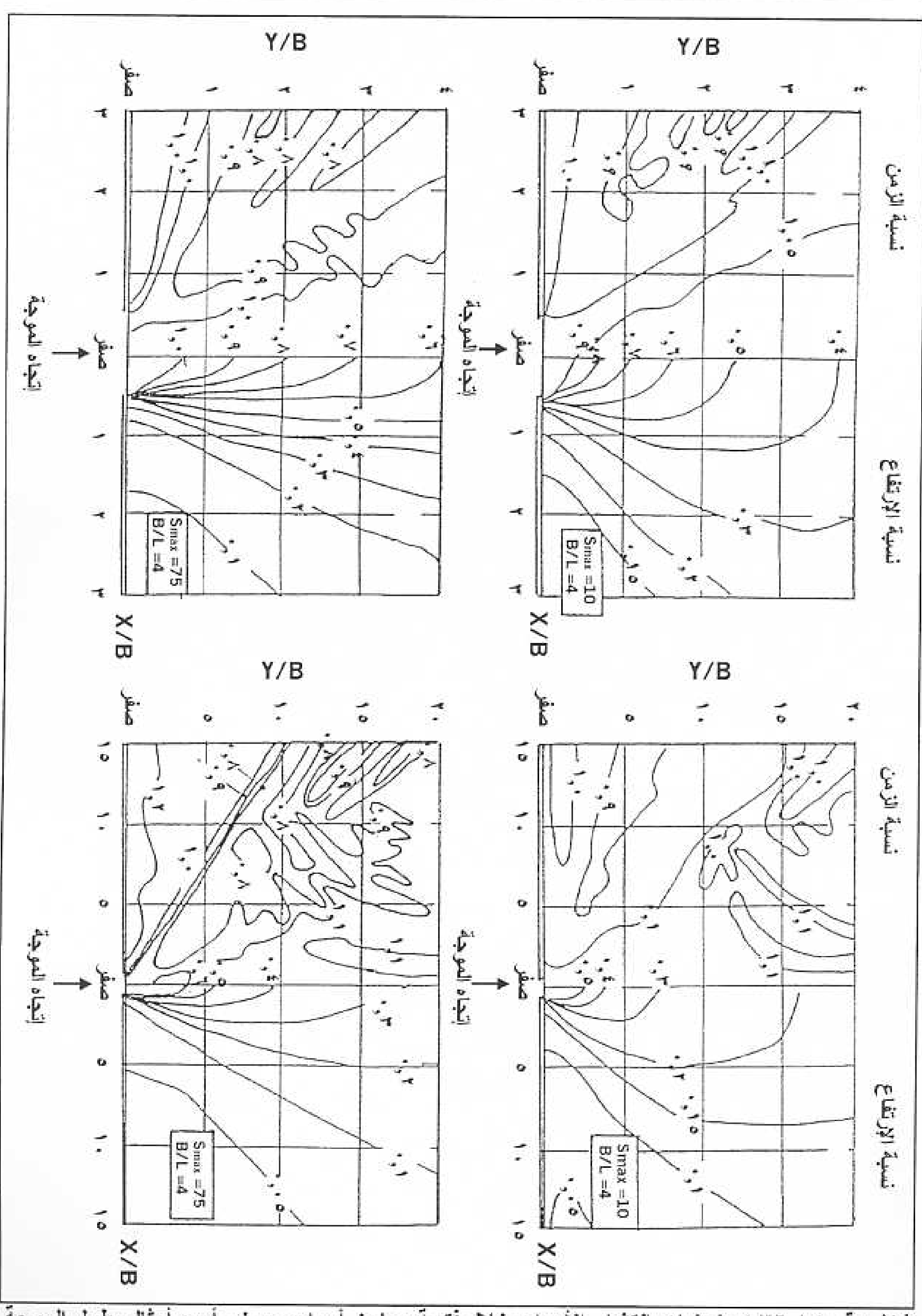
شكل رقم (١-٣٣ ب) منحنيات الإنتشار لحاجز أمواج شبه لا نهائى لأمواج غير منتظمة عمودية على الحاجز



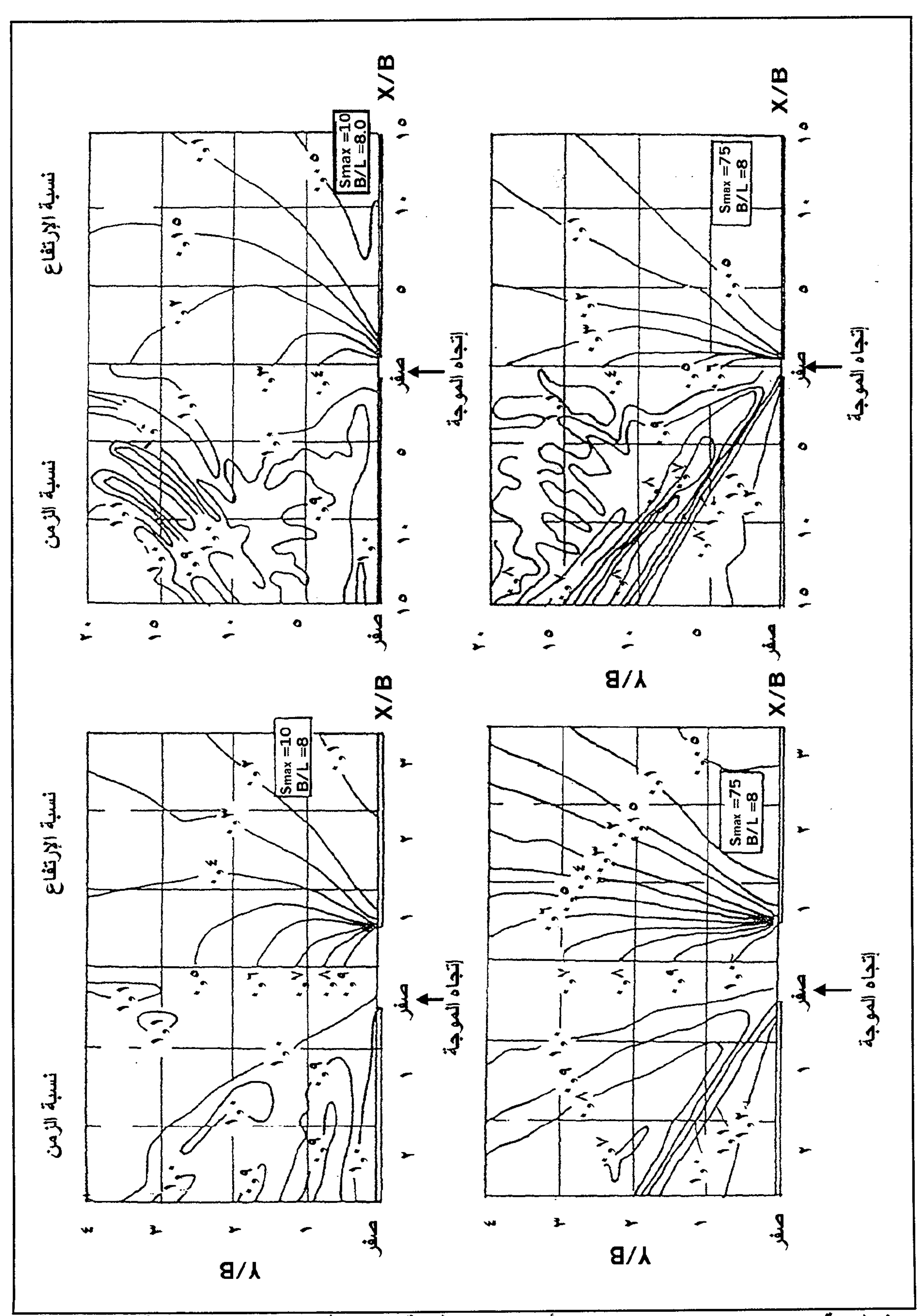
شكل رقم (١-٣٤) منحنيات إنتشار الأمواج خلال فتحة بحاجز أمواج بعرض يعادل طول الموجة للأمواج الغير منتظمة



شكل رقم (١-٣٥) منحنيات إنتشار الأمواج خلال فتحة بحاجز أمواج بعرض ضعف طول الموجة للأمواج الغير منتظمة



شكل رقم (١-٣٦) منحنيات إنتشار الأمواج خلال فتحة بحاجز أمواج بعرض أربع أمثال طول الموجة للأمواج الغير منتظمة



شكل رقم (١-٣٧) منحنيات إنتشار الأمواج خلال فتحة بحاجز أمواج بعرض ثمانى أمثال الموجة للأمواج الغير منتظمة

١-٣-٦-٦ انعكاس الأمواج "Wave Reflection"

١- عندما تصطدم الموجة غير المتكسرة بحائط رأسي فإنها لا تفقد طاقتها نتيجة للاصطدام ولكنها تنعكس مرتدة بعيداً عن الحائط الرأسي ، وكلما تقابلت الموجة الساقطة مع الموجة المرتدة (المنعكسة) ينتج عن تلاقيهما ارتفاع لحظي للمياه أمام الحائط وتعرف هذه الظاهرة بالأمواج الواقفة (القائمة)"Standing Waves " ويجب أخذ هذه الظاهرة فى الاعتبار عند تحديد خصائص الموجة التصميمية في تصميم المنشآت البحرية. كذلك تحدث هذه الظاهرة عندما يحدث تغير مفاجئ فى الأعماق أو الانتقال من مياه ضحلة إلى مياه عميقة وكانت الزاوية α_1 المحصورة بين قمة الموجة وخط كنتور القاع اكبر من الزاوية الحرجة α_c أي:

$$\alpha_1 = \sin^{-1}(C_1 / C_2) \quad \text{if } \alpha_1 > \alpha_c \tag{1-59}$$

ويمكن حساب ارتفاع الموجة المنعكسة بتحديد معامل الانعكاس K_R حيث:

$$\text{معامل الإنعكاس } K_R = \frac{\text{إرتفاع الموجة المنعكسة}}{\text{إرتفاع الموجة الساقطة}}$$

ويعتمد معامل الانعكاس على:-

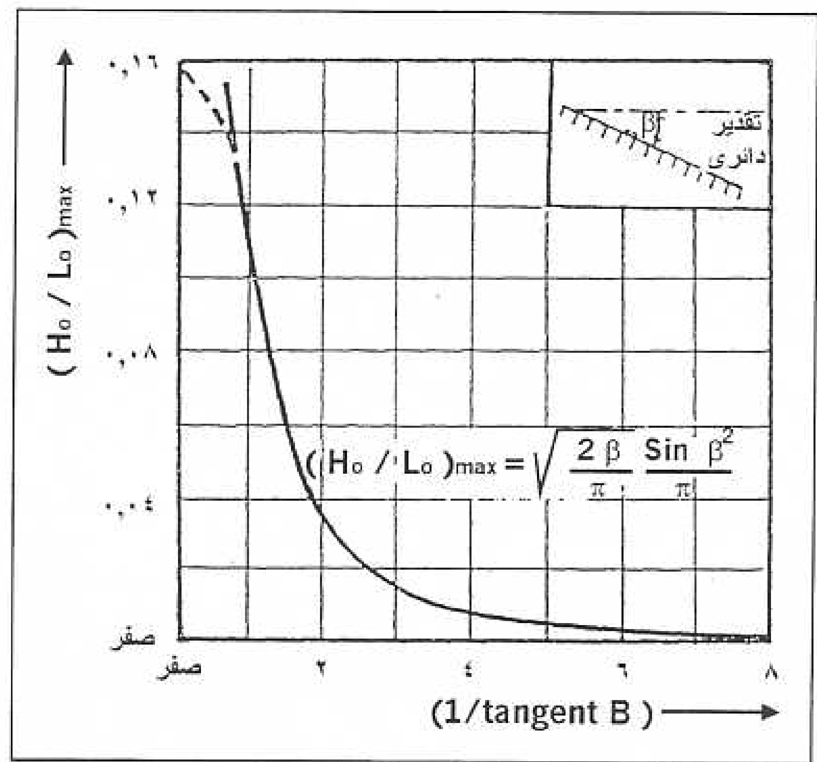
* درجة نفاذية الحاجز ودرجة خشونة سطحه.
* الشكل الهندسي للحاجز.
* خصائص الموجة الساقطة.

ويوضح الشكل رقم (١-١٤) شكل موجة واقفة ناجمة عن انعكاس موجة من حائط رأسي أملس غير منفذ وفى حالة إذا كان موقع الحاجز بالنسبة للموجة الساقطة عند $2\pi x / L = 0$ وذلك باستخدام نظرية الأمواج الخطية.

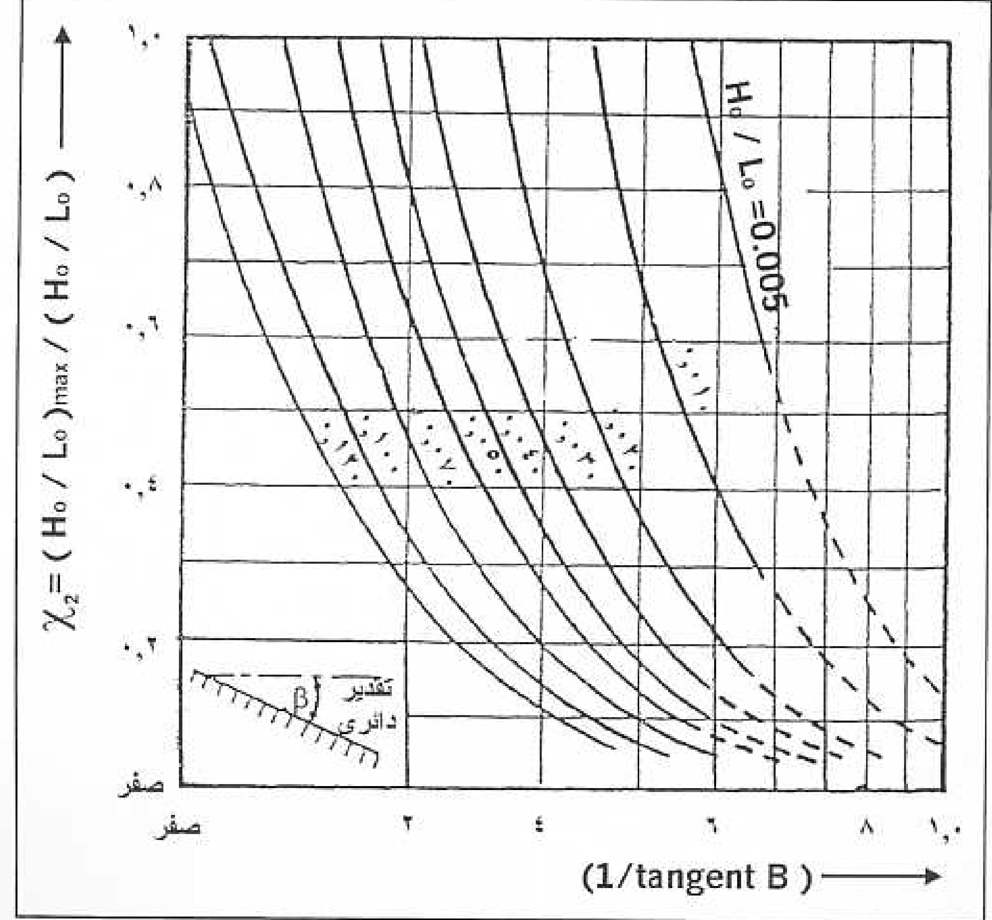
وفى حالة العوائق (حواجز الأمواج) ذات المسامية أو الغاطسة والتي تسمح بانتقال جزء من طاقة الموجة عبرها يجب تعيين معامل الانتقال "K_T" ..

٢- تحدث ظاهرة انعكاس الأمواج فى بعض البحيرات والخلجان ويعتمد حدوث تلك الظاهرة على الشكل الهندسي وخاصة من ناحية العرض العمودي على اتجاه تقدم الموجة وطول الموجة الساقطة.

٤- كما تحدث ظاهرة الانعكاس من الشواطئ وتعتمد كمية الطاقة المنعكسة من الشاطئ على درجة ميل الشاطئ ودرجة نفاذية التربة ودرجة نعومة سطح القاع وشدة الانحدار الموجي وعلى زاوية سقوط الموجة. ويوضح الشكل رقم (١-٣٨) ظاهرة الانعكاس من الشاطئ فى حالة سقوط أمواج عمودية على شاطئ غير منفذ. ويحدث انعكاس كامل للموجة عندما يكون $(H_o / L_o) / (H_o / L_o)_{max}$ أكبر من أو يساوى واحد صحيح ويحدث انعكاس جزئي عندما تكون هذه النسبة أقل من واحد صحيح.



شكل رقم (١-٣٨ أ) العلاقة بين ميل الشاطئ وشدة الإنحدار الموجى الحرج للإنعكاس الموجى



شكل رقم (١-٣٨ ب) العلاقة بين ميل الشاطئ ونسبة الإنحدار الموجى الحرج للإنعكاس الموجى

ويمكن تعيين معامل الانعكاس " K_R " من المعادلة التالية:-

$$K_R = \chi_1 \cdot \chi_2 \qquad (1\text{-}60)$$

حيث:

$$\chi_2 = (H_o / L_o)_{max} / (H_o / L_o) \qquad (1\text{-}60)a$$

وللشواطئ الغير منفذة وذات سطح ناعم فإن $\chi_1=0.8$ أما للشواطئ ذات ميول خشنة أو مدرجة فإن $\chi_1 = 0.3 \rightarrow 0.6$.

١-٣-٦-٧ تكسر الأمواج "Wave Breaking"

١- عندما تتقدم الأمواج تجاه الشاطئ ومن ثم تقل أعماق الماء تحتها فإنها تفقد توازنها عند عبورها نقطة معينة تعرف بنقطة التكسر حيث تتغير الحركة الدورانية لجزئيات المياه فى الموجة إلى حركة مضطربة تنتج عنها الأمواج المتكسرة. كما وأنه من المعروف عندما تتقدم الموجة من المياه العميقة إلى المياه الضحلة يحدث نقص تدريجي فى الطول الموجي وزيادة فى ارتفاع الموجة وبالتالي زيادة فى شدة الانحدار الموجي و يبدأ التكسر فى حالة وصول شده الانحدار الموجي إلى الانحدار الحرج $(H/L)_c$.

$$(H/L)_c = 0.142 \,(\tanh \frac{2\pi d}{L}) \approx 0.142 \qquad (1\text{-}61)$$

وفى هذه الحالة تكون سرعة جزئيات الموجة الأفقية (U) مساوية لسرعة تقدم الموجة (C).

٢- تحديد عمق التكسر "d_b" وارتفاع الموجه المتكسرة "H_b" هما من البيانات الهامة فى تخطيط وتصميم منشآت حماية الشواطئ، و من ثم تستخدم النماذج الرياضية لتحديد نقط التكسر طبقا لهيدروجرافية القاع وللخصائص الطيفية للأمواج وبالتالي تحديد منطقة تكسر الأمواج، وفي حالة الأمواج المنتظمة يتم تحديد نقطة التكسر باستخدام نظرية الموجة المنفردة من العلاقات التالية:-

$$H_b = \frac{H'_o}{3.3.\ \sqrt[3]{H'_o / L_o}} \qquad (1\text{-}62)$$

$$d_b = 1.28 H_b \quad \& \quad H'_o = H_o K_r \qquad (1\text{-}63)$$

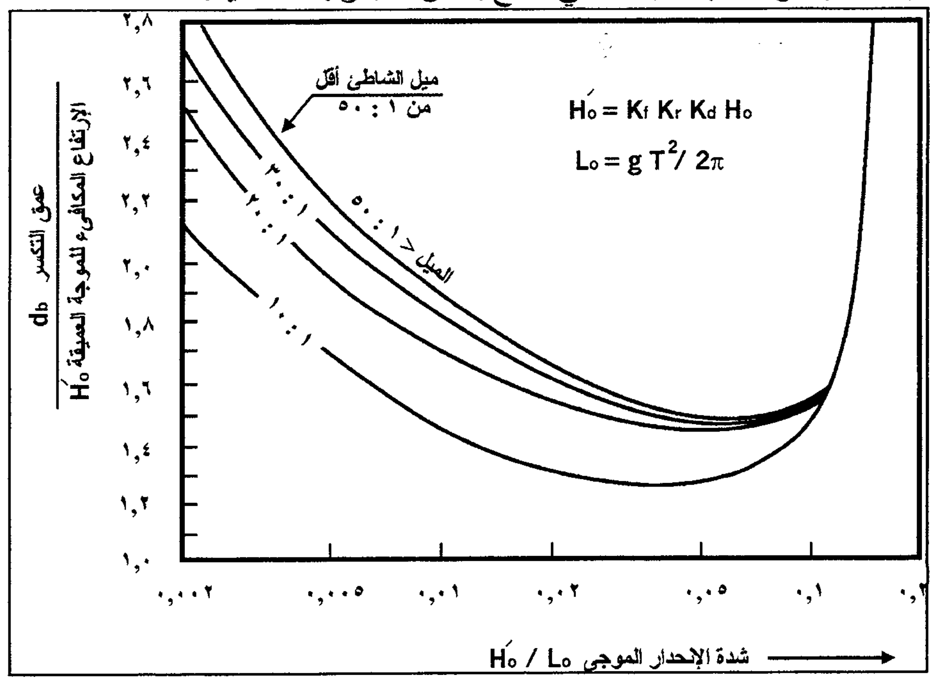
حيث:-

H'_o: ارتفاع الموجه غير المنكسرة فى المياه العميقة

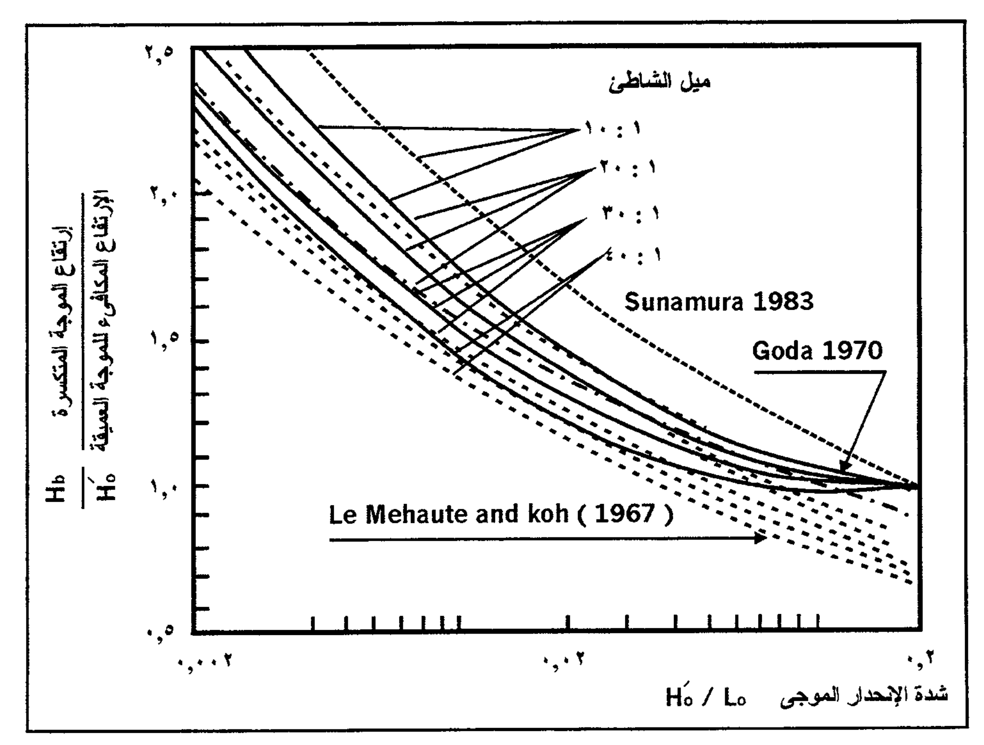
." Unrefracted Deep Water Wave Height "

K_r : معطاة بالمعادلة رقم (١-٥٨).

ويوضح الشكل رقم (١-٣٩) العلاقة بين شدة الانحدار الموجي والنسبة بين عمق التكسر إلى ارتفاع الموجة المكافئ في المياه العميقة بناء علي نتائج بعض التجارب المعملية. كما يوضح الشكل رقم (١-٤٠) العلاقة بين شدة الانحدار الموجي والنسبة بين ارتفاع الموجة المتكسرة إلى ارتفاع الموجة المكافئ في المياه العميقة وذلك أيضا بناء علي نتائج بعض التجارب المعملية.



شكل رقم (١-٣٩) العلاقة بين الإنحدار الموجي والنسبة بين عمق التكسر إلى الإرتفاع المكافىء للموجة العميقة



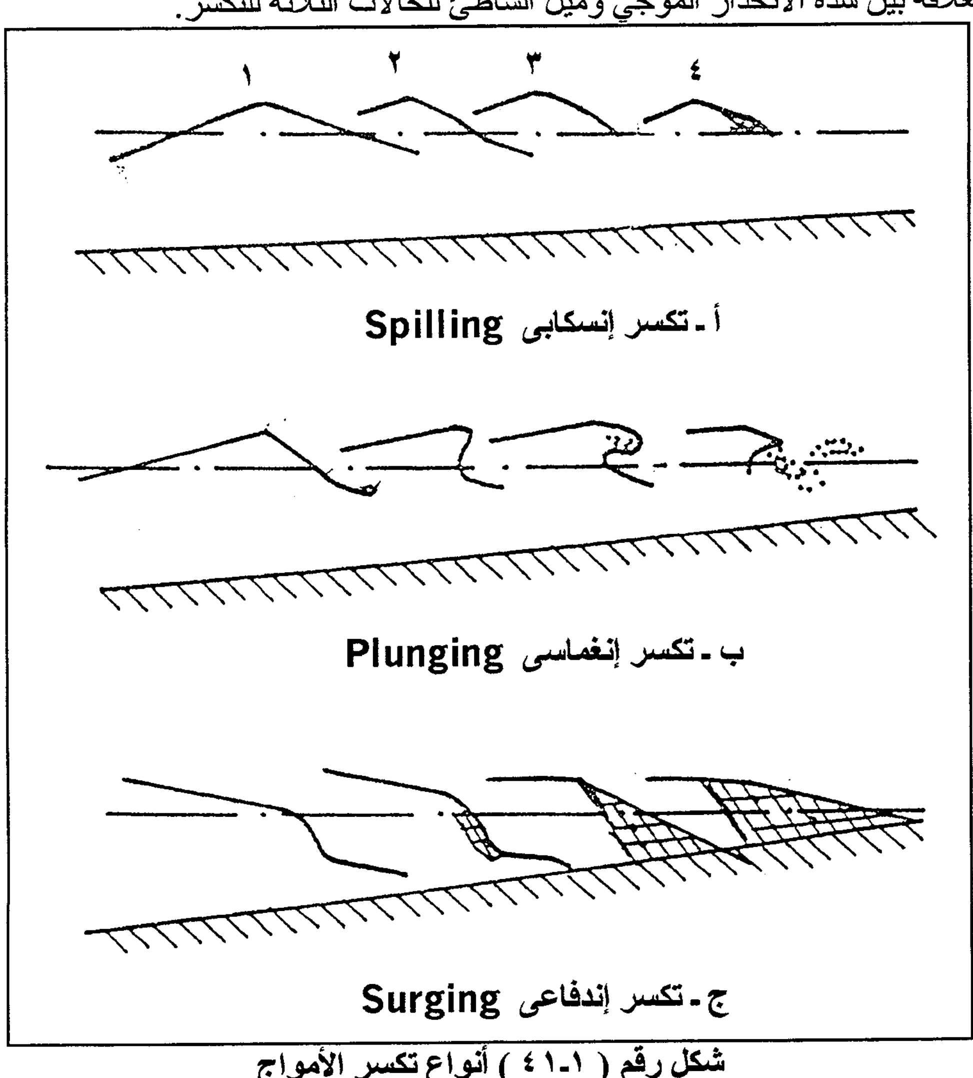
شكل رقم (١-٤٠) العلاقة بين شدة الإنحدار الموجى والنسبة بين إرتفاع الموجة المتكسرة إلى الإرتفاع المكافىء للموجة العميقة

٣- يعتمد شكل التكسر الموجي على شدة الانحدار الموجي وميل القاع وينقسم إلى ثلاث أنواع رئيسيه هي:-

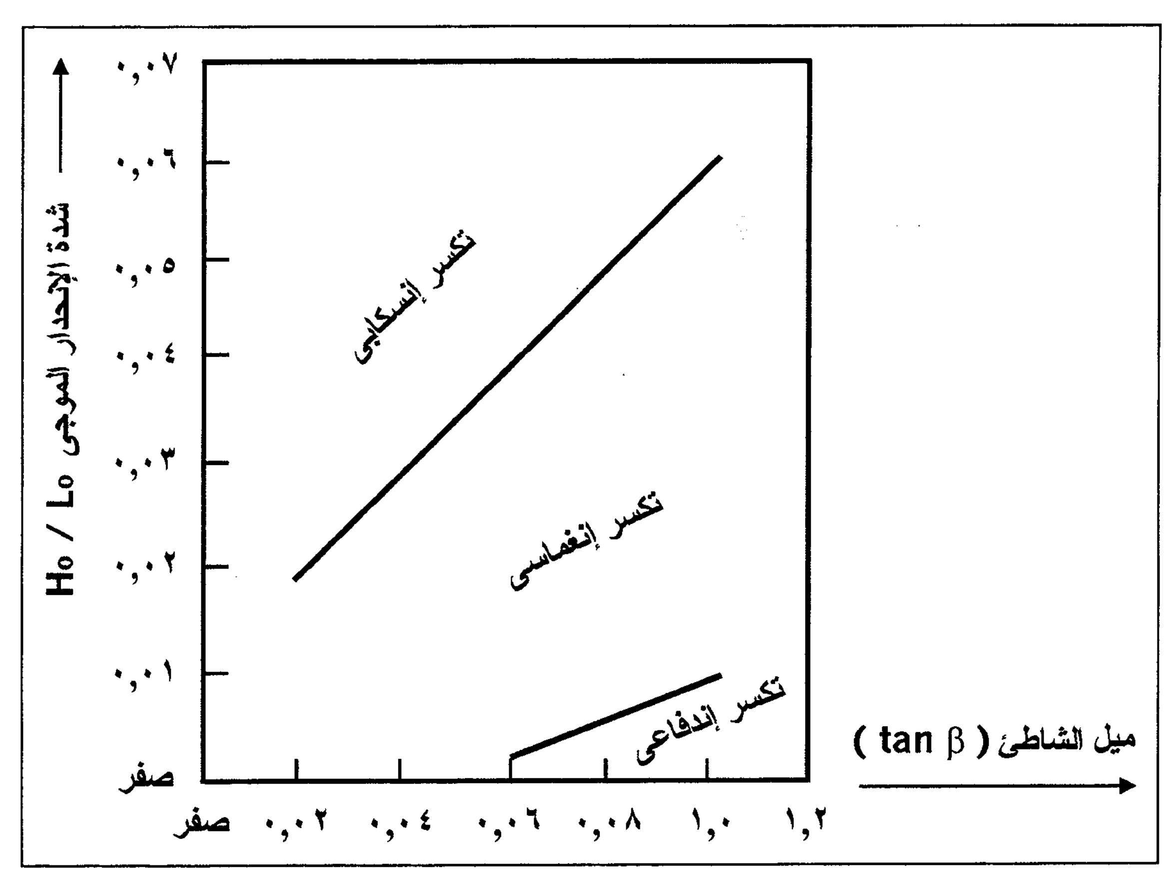
* تكسر انسكابي" Spilling Breaker " : ويحدث فى حالة سقوط أمواج ذات شدة انحدار موجي كبير على شاطئ ذو ميل منبسط٠ وفى هذه الحالة يكون شكل الموجة متماثل تقريبا حول القمة.
* تكسر انغماسي" Plunging Breaker " : ويحدث فى حالة سقوط أمواج ذات شدة انحدار موجي كبير على شاطئ ذو ميل حاد نسبيا وفى هذه الحالة يكون شكل الموجة غير متماثل حول القمة وتكون حركة جزئيات الماء اكثر اضطرابا٠
* تكسر اندفاعي" Surging Breaker " : ويحدث فى حالة تقدم أمواج ذات انحدار موجي صغير نحو شاطئ ذو ميل حاد ويحدث التكسر عندما يعترض الموجة التيار العائد من الموجه السابقة.

ويوجد تكسر إنقضاضي (إنهياري) " Collapsing Breaker " ويعتبر حالة متوسطة بين التكسر الإنغماسي والتكسر الاندفاعي.

ويوضح الشكل رقم (١-٤١) شكل التكسر فى الحالات الثلاثة كما يوضح الشكل رقم (١-٤٢) العلاقة بين شدة الانحدار الموجي وميل الشاطئ للحالات الثلاثة للتكسر.



شكل رقم (١-٤١) أنواع تكسر الأمواج



شكل رقم (١-٤٢) العلاقة بين شدة الإنحدار الموجى وميل الشاطئ لأنواع التكسر المختلفة

١-٣-٧ ارتفاع وانخفاض سطح المياه الموجي

" Wave Set-up & Wave Set-down "

عندما تصل الموجة المتكسرة إلى الشاطئ فان كمية المياه المنتقلة نتيجة لتكسر الموجة والمتجهة نحو الشاطئ تتوقف عنده ويتولد عنها تيار مرتد ناحية البحر على القاع. ومن ثم ينشأ نتيجة للحركة المتقابلة لكل من الموجة القادمة والتيار المرتد ارتفاع فى سطح المياه "Set-up" فى منطقة زبد البحر بينما يحدث انخفاض لسطح المياه "Set-down" خلف خط التكسر من ناحية البحر. ويتم دراسة تأثير هذه الظاهرة على المنشآت الخاصة بحماية الشواطئ باستخدام نماذج هيدروليكية مصغرة، كما يمكن تعيين قيمة الانخفاض في سطح المياه خلف خط التكسر ناحية البحر " η " من العلاقة:-

$$\eta = \frac{-H^2}{8} \frac{k}{\sinh(2kd)} \qquad (1\text{-}64)$$

حيث:-

H : ارتفاع الموجة عند العمق d.

k : العدد الموجي = $2\pi / L$.

L : طول الموجة.

وتعيين ارتفاع سطح المياه أمام خط التكسر ناحية الشاطئ $\bar{\eta}$ من العلاقة:-

$$\bar{\eta} = F(d_b - d) + \bar{\eta}_b \qquad (1\text{-}65)$$

حيث:-

η_b : انخفاض سطح المياه عند نقطة التكسر من المعادلة رقم (١-٦٤).

d_b : العمق عند نقطة التكسر.

d : عمق المياه المطلوب حساب $\bar{\eta}$ عنده.

F : ثابت = ١/٦.

١-٣-٨ الانـتـقـــال الـمـوجـــي- الـفـيـــض الـمـــوجي (ركــوب الموجــة) الصعـــــود الـمـــوجي "Wave Runup"

تعتبر هذه الظاهرة من الظواهر الهيدروليكية الأكثر تعقيدا لأنها تعتمد على العديد من العوامل مثل خصائص الموجة الأساسية- شدة الانحدار الموجي - عمق المياه أمام العائق - ميل القاع - الشكل الهندسي للعائق - ميل سطح العائق ودرجة خشونته ودرجة نفاذيته - منسوب سطح العائق بالنسبة لمنسوب المياه - عرض سطح العائق - بعد العائق عن خط الشاطئ - اتجاه العائق مع خط الشاطئ.

وهناك العديد من المعادلات والمنحنيات لتعيين هذه الظاهرة المستنتجة بناء على القياسات من الطبيعة ومن التجارب المعملية.

١-٤ التيـــــارات "Currents"

١-٤-١ التيارات المديّـــة "Tidal Currents"

هي التيارات الناشئة عن ظاهرة المد والجزر وتلعب هذه التيارات دور هام فى المنطقة القريبة من الشاطئ وغالبا ما تكون موازية له وتتأثر بطبوغرافية المنطقة الساحلية ويعتمد اتجاهها على حركة المد والجزر و طبوغرافية الشاطئ. ويظهر تأثير هذه التيارات بوضوح فى الفتحات المدية وفي البواغيز وفي مصبات الأنهار.

وفى البحر المتوسط تنشأ التيارات المدية بتأثير العلاقة المتبادلة بين المحيط الأطلنطي والبحر المتوسط حيث تتدفق المياه إلى داخل البحر المتوسط اكثر من الخارجة منه نظرا للبخر وقلة الأنهار التي تصب فيه إلى حد كبير. ويجرى هذا التيار عكس عقربي الساعة فهو في اتجاه الشرق على ســاحل شمال أفريقيا (الشاطئ الجنوبي للبحر المتوسط) و في اتجاه الغرب على ساحل جنوب أوربا (الشواطئ الشمالي للبحر المتوسط) وعادة يكون ضعيفا جدا شرقي خط طول ١٠ ° شرقا ونادرا ما تكون شدته اكثر من عقدة واحدة.

١-٤-٢ التيارات الساحلية (Coastal Currents)

تتأثر المنطقة القريبة من الشاطئ بالعوامل المناخية وبتصرفات مياه الأنهار وكذا بتكسر الأمواج بالإضافة إلى التغيرات فى الظواهر الطبيعية الناشئة عن المنشآت البحرية. وتؤدى هذه العوامل إلى حدوث منظومة التيارات الساحلية القريبة من الشاطئ وهى منظومة معقده نتيجة لتداخلات هذه العوامل مع بعضها البعض ويستلزم لمعرفتها إجراء أرصاد وقياسات مستفيضة ولفترة طويلة فى منطقة الدراسة وسيتم تناول هذه المنظومة بالتفصيل فى الباب رقم ٣ (تخطيط وتأثير منشآت حماية الشواطئ)· وتنقسم هذه التيارات إلى:-

١-٤-٢-١ تيارات مترددة عمودية على الشاطئ "On-shore/ Off-shore "

وهى تيارات تتردد بين اتجاهي الشاطئ والبحر فى اتجاه عمودي على خط الشاطئ وتنشأ نتيجة للعوامل التالية:-

أ - تبادل الكتل المائية بين المنطقة القريبة من الشاطئ والمنطقة البعيدة من الشاطئ حيث أوضحت الدراسات الحقلية والتجارب المعملية وجود كتلتين مائيتين متميزتين يفصلهما خط تكسر الأمواج وينشأ مبادلة بين تلك الكتلتين نتيجة لانتقال جزئيات المياه فى اتجاه حركة الموجة وبفعل التيارات السطحية الناشئة عن الرياح وارتفاع منسوب سطح المياه أمام الشاطئ والتيارات الناشئة عن تعرج شكل القاع والتيارات المنطلقة أو العائدة.

ب - انتشار الفيض العائد "Dispersion of Return Flow":-
وينشأ عن جرف المياه الناجمة عن الأمواج والرياح و تدرج الضغط على القاع نتيجة للصعود الموجي و لاختلاف كثافة المياه نتيجة لتركيز المواد العالقة ودرجة الحرارة.

جـ- التيار العائد (المنطلق) "Rip Current":-
وهو تيار عائد سريع على شكل مجرى ضيق وينشأ عادة فى الأحوال التالية:-

* عند سقوط الأمواج المدفونة عموديا على خط الشاطئ.
* الشواطئ ذات الميول المعتدلة نسبيا.
* بجوار الرؤوس البحرية والحواجز العمودية (Jetties)

وتعتمد سرعة التيار العائد والمسافة بين قنواته وطول القناة على ارتفاع الأمواج الساقطة وحالة تجمع أو تفرق أشعة الاتجاه الموجي، وتزداد المسافة بين قنوات التيار العائد كما تزداد سرعته فى حالة الأمواج العالية ويتأثر اتجاهه باتجاه الرياح .

وعادة تتراوح المسافة بين قنوات التيار العائد بين ٣٠م إلى ٤٠٠م.
وسرعة التيار المنطلق قد تزيد عن ١م/ث فى حالة البحر العالي وتختلف السرعة طبقا لتغير منسوب المياه الناشئ عن الأمواج الطويلة.

١-٤-٢-٢ التيارات الموازية للشاطئ (Longshore Currents)

تنشأ هذه التيارات من الأمواج التي تهاجم الشاطئ بزاوية فى منطقة تكسر الأمواج وعادة تكون السرعة المتوسطة لهذه التيارات أقل من ٣٠سم/ث. وتتغير سرعة واتجاه التيار الموازي للشاطئ إذا ما تقابل مع عائق مثل رأس أو حاجز ثم يعود إلى خصائصه قبل العائق في مسافة تعادل حوالي ١٠ مرات عرض منطقة التكسر .

ويوضح الجدول رقم (١-٤) أهم المعادلات المستخدمة فى حساب التيار الموازي للشاطئ .

ويجب إجراء قياسات حقلية لتحديد أنسب المعادلات الواجب إستخدامها لمنطقة الدراسة.

جدول رقم (٤-١)
أهم المعادلات المستخدمة فى حساب التيار الموازى للشاطئ طبقا لطبيعة المنطقة الساحلية

أ - بالنسبة لخطوط كنتور مستقيمة ومتوازية

مسلسل	المؤلف	المعادلة
١	بتنام - منك - ترايلور (١٩٤٩) Putnam – Munk – Traylor	$V=\frac{a}{2}\left[\left(1+\frac{4C}{a}\sin\alpha_b\right)^{1/2}-1\right]$ $a=2.61\,H_b i\cos\alpha_b/(fT)$ $i=d_b/\ell\,,\ C=\sqrt{2.28gH_b}$
٢	اينمان - كوين (١٩٥١) Inman – Quinn	$V=\left[\left(\frac{1}{4x^2}+y\right)^{1/2}-\frac{1}{2x}\right]^2$ $x=646\,H_b i\cos\alpha_b/T$ $y=C\sin\alpha_b\quad,\quad C=\sqrt{2.28gH_b}$
٣	ناجايا (١٩٥٤) Nagai	$V=\frac{1}{8}H_b\,C_b\,K\left(\sqrt{1+\frac{16\sin\alpha_b}{KH_b}}-1\right)$ $K=i/(fd_b)$
٤	جالفن - إيجلسون (١٩٦٤) Galvin – Eagleson	$V=kgTi\sin2\alpha_b$ $k=\text{Const.}=1$
٥	ساتو - تناكا (١٩٦٦) Sato – Tanaka	$V=k_o\left[\frac{iH_o^{5/3}}{T^{\frac{1}{3}}}\sin2\alpha_o\right]^{1/3}$ $k_o=\text{const.}=1.6(\text{Kashima Coast})$

تابع جدول رقم (٤-١)

ب - بالنسبة لخطوط كنتور منحنية أو وجود كثيبات (Bars)

مسلسل	المؤلف	المعادلة
١	Bruun برورن (١٩٦٣)	$V = \frac{Q_b x \cos \alpha_b}{A_s T}$ x = alongshore distance from root of rip current
٢	Bruun برورن (١٩٦٣)	$V = \left[\frac{2gQ_b}{L_b} \frac{i \sin 2\alpha_b}{f} \right]^{1/2}$

حيث :

H_b : ارتفاع التكسر
d_b : عمق التكسر
L_b : طول الموجة عند التكسر
C_b : سرعة تقدم الموجة عند التكسر
i : متوسط ميل القاع بمنطقة التكسر
α_b : الزاوية بين خط قمة الموجة وخط التكسر
Q_b : كمية المياه المنتقلة نتيجة لتكسر الأمواج
A_s : مساحة القطاع المائي لمنطقة التكسر
f : معامل دارسي – ويزباك (Darcy – Weisbach) للخشونة
ℓ : عرض منطقة التكسر
C : سرعة تقدم الموجة
g : عجلة الجاذبية الأرضية

١-٥ تغير منسوب سطح البحر (Sea Water Level Variation)

١-٥-١ عـــــــــــام

يتغير منسوب سطح البحر أساسا نتيجة لعوامل كونية ولعوامل مناخية كما هو موضح فيما يلي:-

١- المد الكوني:
وهو ظاهرة طبيعية تتمثل فى ارتفاع وانخفاض متتالي فى منسوب سطح البحر يحدث بصفة دوريه مره أو مرتين - وهو الأغلب- يوميا بالتقريب. وتنشأ هذه الظاهرة عن اختلاف قوى الجذب الحادثة بين كلا من القمر والشمس وبين الأرض وتأثيرها على الغلاف المائي للكره الأرضية. وهي تختلف من مكان لآخر ومع الزمن.

٢- المد المناخي:
ويمثل التغير فى منسوب سطح البحر نتيجة للتغيرات المناخية سواء الناشئة عن التغير فى الضغط الجوي أو لارتفاع المياه أمام الشاطئ بفعل الرياح القادمة من البحر أو لتغير درجة الحرارة أو كثافة المياه أو نتيجة للأمواج العاصفة أو لتكسر الأمواج. ويتم تعيينه من خلال القياسات الحقلية لمده طويلة لمنسوب المياه ثم إجراء تحليل توافقي لنتائج القياسات لتحديد التغير الناشئ عن المد الكوني ويكون الفرق هو التغير الناشئ عن المد المناخي .

١-٥-٢ المد الكوني "Tide "
يتأثر المد الكوني أكثر بجاذبية القمر. ومن المعروف أن اليوم القمري أطول من اليوم الشمسي بحوالي ٥٤ دقيقة الأمر الذي يؤدى إلى حدوث فرق زمني فى الطور من يوم لآخر.

والفرق بين منسوبي المياه فى المد والجزر يسمى "المدى" ويختلف المدى باختلاف الموقع وعمق المياه واختلاف أيام الشهر وشهور السنة والدورة الكونية. ويلاحظ أن المد يبلغ أقصاه حين يكون القمر بدرا أو محاقا أي عندما تكون الشمس والقمر فى اتجاه واحد وهذا يحدث مرتين فى كل شهر قمري حيث يتحد فيهما تأثير جاذبية الشمس والقمر على الأرض (الشهر القمري حوالي ٢٩ر٥ يوما) ويعرف ذلك بالمد الربيعي أو الكامل وينخفض الجزر إلى أدنى منسوب ويسمى بالجزر الربيعي أو الكامل .

أما إذا كانت الشمس والقمر فى اتجاهين متعامدين مع الأرض (التربيع الأول أو الثالث من بداية الشهر العربي) فيكون ارتفاع المد أقل من المعدل ويسمى بالمد الواطي أو الناقص وبالمثل يكون منسوب الجزر أعلى من المعتاد ويسمى بالجزر الناقص. هذا وتوجد حالة خاصة من حالات المد الربيعي وتعرف بالمد الاستوائي وهو ما يحدث عند تساوى الليل والنهار مرتين كل عام فى ٢١ مارس و ٢٣ ديسمبر وفى هذه الحالة تكون الشمس والقمر متعامدين على خط الاستواء.

ونتيجة لدوران القمر حول الأرض ودوران الاثنين حول الشمس فإن أي مكان ثابت على سطح الأرض يصبح مقابلا للقمر مره كل ٢٤ ساعة و ٥٤ دقيقه (اليوم القمري) وحيث أن تأثير القمر على المد والجزر أقوى من تأثير الشمس فإن الموجة المدية تتبع مدار القمر وتسير هذه الموجة بسرعة ١٥٠٠٠ كم/ساعة تقريبا.

ومن الملاحظ على سواحل مصر أن ظاهرة الارتفاع والانخفاض الدوري لسطح المياه تتبع فى ظاهرها دوران القمر حول الأرض حيث يحدث ارتفاع الماء مرتين فى اليوم تقريبا عقب شروق القمر وغروبه بزمن يكاد يكون ثابتا. ويبلغ المدى المدّي اليومي في البحر المتوسط حوالي ١٥-٢٠سم بينما بلغ أقصى تغير مُقاس لمنسوب المياه ١١٧سم.

ويوضح الشكل رقم (١-٤٣) تسلسل مناسيب المد والجزر.

أعلى أعلى منسوب مياه	H.H.W.L.
متوسط أعلى مياه مد ربيعى	M.H.W.S.
متوسط أعلى مياه مد ناقص	M.H.W.N.
متوسط سطح البحر (منسوب المساحة)	M.S.L.
متوسط أوطى مياه جذر ناقص	M.L.W.N.
متوسط أوطى مياه جذر ربيعى	M.L.W.S.
أدنى أدنى منسوب مياه (وهو منسوب المقارنة الخاص بهيئة الموانى المصرية)	L.L.W.L.

شكل رقم (١-٤٣) مناسيب المد والجزر

حيث :-

- **أعلى أعلى منسوب مياه H.H.W.L. "High High Water Level":**
ويمثل أقصى منسوب للمياه يحدث خلال فترة زمنية متصلة لا تقل عن تسعة عشر عاما.

- **أوطى أوطى منسوب مياه L.L.W.L."Low Low Water Level" :**
ويمثل أدنى منسوب للمياه يحدث خلال فترة زمنية متصلة لا تقل عن تسعة عشر عاما.

- **متوسط المد الربيعي M.H.W.S. "Mean High Water of Spring Tide":**
ويمثل متوسط أعلى منسوب للمياه الذي يحدث مرتين خلال الشهر العربي عقب بدايته عندما يكون القمر محاقا وفى منتصفه عندما يكون القمر بدرا - أي عندما تكون الشمس والأرض والقمر على استقامة واحدة - وذلك لفترة زمنية متصلة لا تقل عن تسعة عشر عاما.

- **متوسط الجزر الربيعي M.L.W.S."Mean Low Water of Spring Tide" :**
  ويمثل متوسط أدنى منسوب للمياه الذي يحدث مرتين خلال الشهر العربي عقب بدايته عندما يكون القمر محاقا وفي منتصفه عندما يكون القمر بدرا - أي عندما تكون الشمس والأرض والقمر على استقامة واحدة - وذلك لفترة زمنية متصلة لا تقل عن تسعة عشر عاما.

- **متوسط المد الناقص M.H.W.N. "Mean High Water of Neap Tide":**
  ويمثل متوسط أعلى منسوب للمياه الذي يحدث مرتين خلال الشهر العربي عقب بداية التربيع الأول والتربيع الثالث عندما يكون الخط الواصل بين القمر والأرض متعامد على الخط الواصل بين الشمس والأرض وذلك لفترة زمنية متصلة لا تقل عن تسعة عشر عاما.

- **متوسط الجزر الناقص M.L.W.N. "Mean Low Water of Neap Tide":**
  ويمثل متوسط أدنى منسوب للمياه الذي يحدث مرتين خلال الشهر العربي عقب بداية التربيع الأول والتربيع الثالث عندما يكون الخط الواصل بين القمر والأرض متعامد على الخط الواصل بين الشمس والأرض وذلك لفترة زمنية متصلة لا تقل عن تسعة عشر عاما.

- **متوسط سطح البحر M.S.L. "Mean Sea Level":**
  ويمثل المتوسط الحسابي لمنسوبي المد والجزر اليومي لفترة زمنية متصلة لا تقل عن تسعة عشر عاما، وهو يمثل صفر هيئة المساحة المصرية محددا عند الإسكندرية.

ملحوظة:

(١) يحدث المد والجزر الربيعي عقب بداية الشهر العربي ومنتصفة بفترة تتراوح بين يوم واحد إلى ثلاثة أيام، وكذا نفس الفترة للمد وللجزر الناقص بعد التربيع الأول والثالث.

(٢) في معظم الأعمال الهندسية لتعيين كل من المد والجزر الربيعي أو المد والجزر الناقص يمكن الاكتفاء بحسابها على نحو من التقريب بأخذ المتوسطات لفترة زمنية لا تقل عن اثني عشر شهرا.

١-٥-٣ التغيرات غير الفلكية في منسوب سطح البحر

ترجع هذه التغيرات لعدة عوامل أهمها:-

١- تأثير اختلاف الضغط الواقع على سطح المياه يحدث عدم استواء في سطح البحر فيرتفع في الأماكن التي يقل عندها الضغط وينخفض في الأماكن التي يرتفع عندها الضغط. كما ينتج عن الرياح المصاحبة إجهاد مماس وعمودي على سطح المياه يؤدى إلى نشوء أمواج طويلة تعرف بالأمواج العاصفة تغير هي الأخرى في مستوى سطح البحر. ويتم استخدام نماذج رياضية لتعيين التغير في منسوب سطح المياه نتيجة لاختلاف الضغط الجوي.

٢- ارتفاع وانخفاض منسوب سطح المياه بالقرب من الشاطئ نتيجة لتكسر الأمواج أو بفعل الرياح.

٣- الأمواج الناشئة عن الزلازل.

١-٦ المواد الرسوبية "Sediments"

١-٦-١ طبيعة تربة القاع السطحية

عادة يغطي القاع مكونات من التربة هي عبارة عن رسوبيات من مواد القاع ترسبت غالبا فى المنطقة الساحلية تحت تأثير الأمواج والتيارات على قاع البحر.

وتنقسم المواد الرسوبية من ناحية نشأتها إلى ثلاثة أنواع رئيسيه:-

١- الرسوبيات الميكانيكية: وتتكون من حبيبات المعادن الناتجة من التفتت الميكانيكي لجميع أنواع الصخور وتنتقل المواد المفتتة بفعل المياه أو الهواء أو الجاذبية إلى أماكنها الحالية التي ترسبت فيها وتشمل هذه الرواسب ما يلي:-

أ - الرسوبيات الطينية ويتراوح قطر الحبيبات من ١٠ر٠ إلى اقل من ٠٠٥ر٠ مم وتشمل الطمي والطين .

ب- الرسوبيات الرملية ويتراوح قطر الحبيبات من ٢مم إلى ١٠ر٠ مم وتشمل الرمال الخشنة والمتوسطة والدقيقة.

جـ- الرسوبيات الزلطية ويتراوح قطر الحبيبات من ٦٤مم إلى ٢مم وتشمل الزلط المستدير - والزلط الغير منتظم – جلاميد ومواد صلصالية.

٢- الرسوبيات العضوية: وتتكون من تراكم بقايا المواد العضوية التي خلفتها الحيوانات أو النباتات التي تعيش فى البحار غالبا وتشتمل هذه الرسوبيات على ما يلي:-

أ- الرسوبيات الجيرية: وتشمل فتات المحار وهياكل الحيوانات البحرية والشعب المرجانية.

ب- الرسوبيات السيليسية: وتشمل أشواك الإسفنج والدولوميت.

جـ- الرسوبيات الكيمائية: وتنشأ عن عملية التبخر أو التفاعل الكيميائي بين المحاليل التي كانت هذه المواد مذابة فيها وتشمل بعض الرواسب الجيرية والملحية.

١-٦-٢ حركة المواد الرسوبية

تتعرض المنطقة الساحلية والشاطئية لبعض التغيرات الموسمية كما وأنها قد تتعرض أيضا لتغيرات مستمرة طبقا لطبيعة تربة القاع والعوامل البحرية السائدة فى المنطقة بجانب العوامل الطبوغرافية للموقع. وتجتمع تلك العوامل فى تحديد شدة وشكل حركة المواد الرسوبية والتي ينتج عنها بالمنطقة عمليات التغيير من نحر وترسيب وتغير فى ميول قاع البحر. ويمكن تقسيم حركة الرسوبيات بشكل عام إلى نوعين :-

أولا:

حركة رسوبيات في اتجاه عمودي على الشاطئ وهو ما يسمى "Cross-Shore Transport" وهى نتيجة حركة جزئيات المياه في دوائر نتيجة للأمواج "Wave Orbital Motion".

ثانيا:
حركة الرسوبيات الموازية "Longshore Transport" وهى نتيجـة تـأثير التيـارات الناشئة عن تكسر الأمواج فى المنطقة القريبة من خط الشاطئ.

وتعتمد التغيرات فى المنطقة الشاطئية على طبيعة التربة من ناحية كونها صخرية أو من مواد غير متماسكة مثل الزلط- الرمال- الطين. وفى حالة الشواطئ الصخرية فإنه يصعب استعادة أي تغير فى الشاطئ نتيجة للنحر أما الشواطئ التي تتكون من مواد غير متلاحمة فأنه قد يمكن استعادتها بالتحكم في عمليات النحر والترسيب .

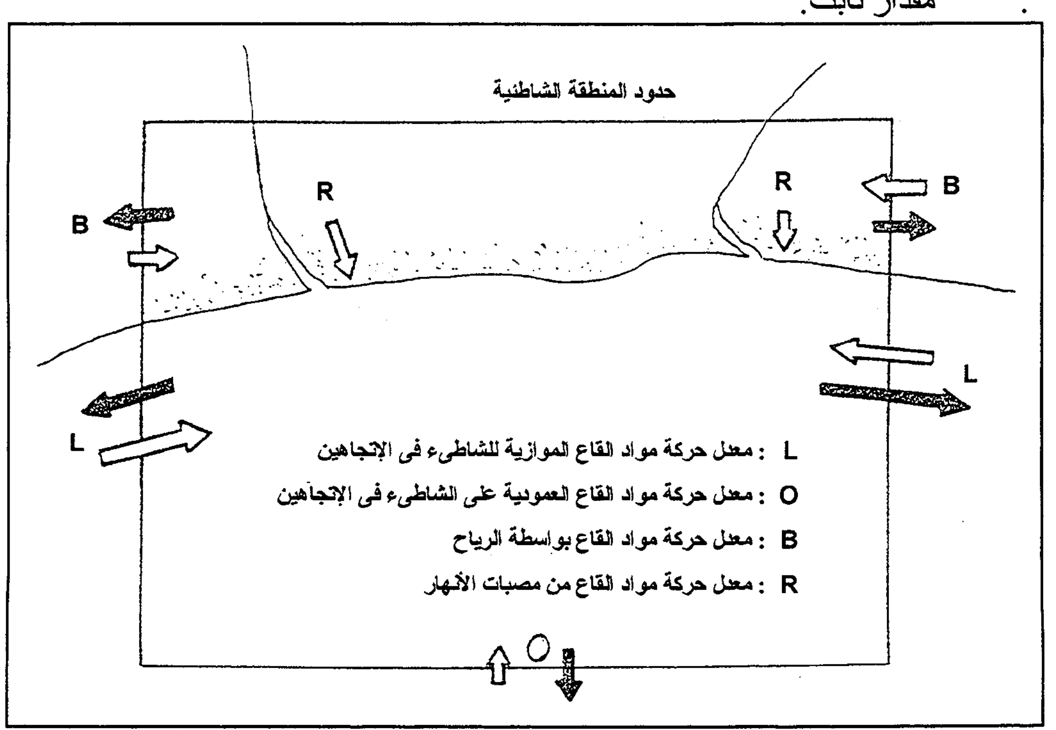
ويمكن تمثيل بيان حركة مواد القاع فى المنطقة الشاطئية كما هو موضح بالشكل رقم (١-٤٤) كما أن أعمال التكريك أو التغذية الصناعية.... الخ يمكن أن تؤثر على حركة مواد القاع ، وفى حالة تساوى كمية مواد القاع الداخلة للمنطقة الشاطئية مع الكمية الخارجة منها يحدث اتزان للشاطئ ويجب للحكم على ذلك متابعة حالة الشاطئ خلال فترة تزيد عن ١٠ سنوات. أما إذا زادت كمية مواد القاع الداخلة عن الخارجة يحدث إطماء بينما يحدث نحر فى الحالة العكسية، والكروكي المبين بالشكل رقم (١-٤٥) يعطي بعض حالات تشكل المنطقة الشاطئية للشواطئ الرسوبية .

ويمكن التعرف على طبيعة الشاطئ من حيث النحر والإطماء بصفة عامة باستخدام المعادلة التالية:-

$$H_o/L_o = C(\tan\beta)^{-0.67}(D/L_o)^{0.67} \qquad (1\text{-}66)$$

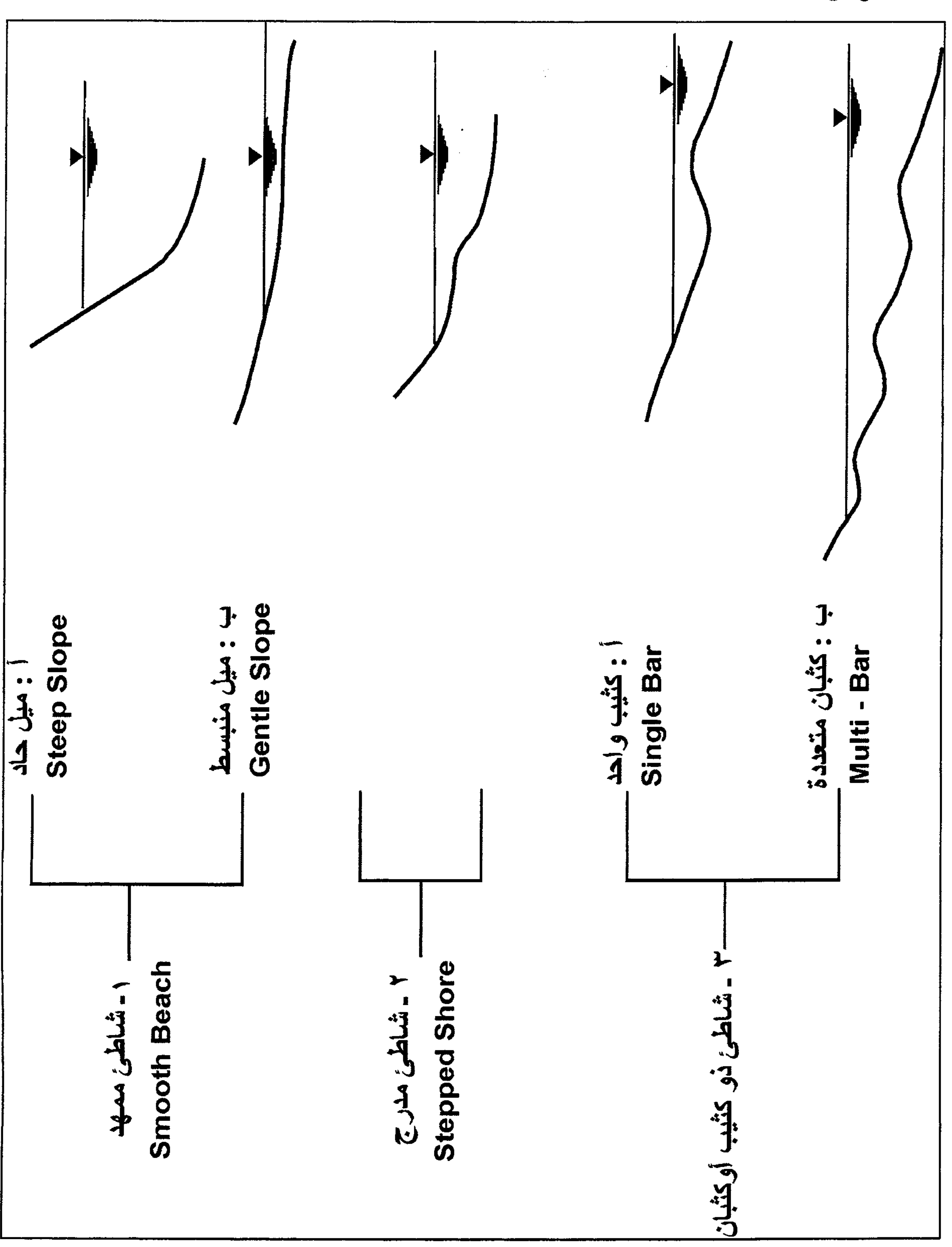
حيث:-

β : زاوية ميل الشاطئ.
D : حجم حبيبات القاع.
C : مقدار ثابت.

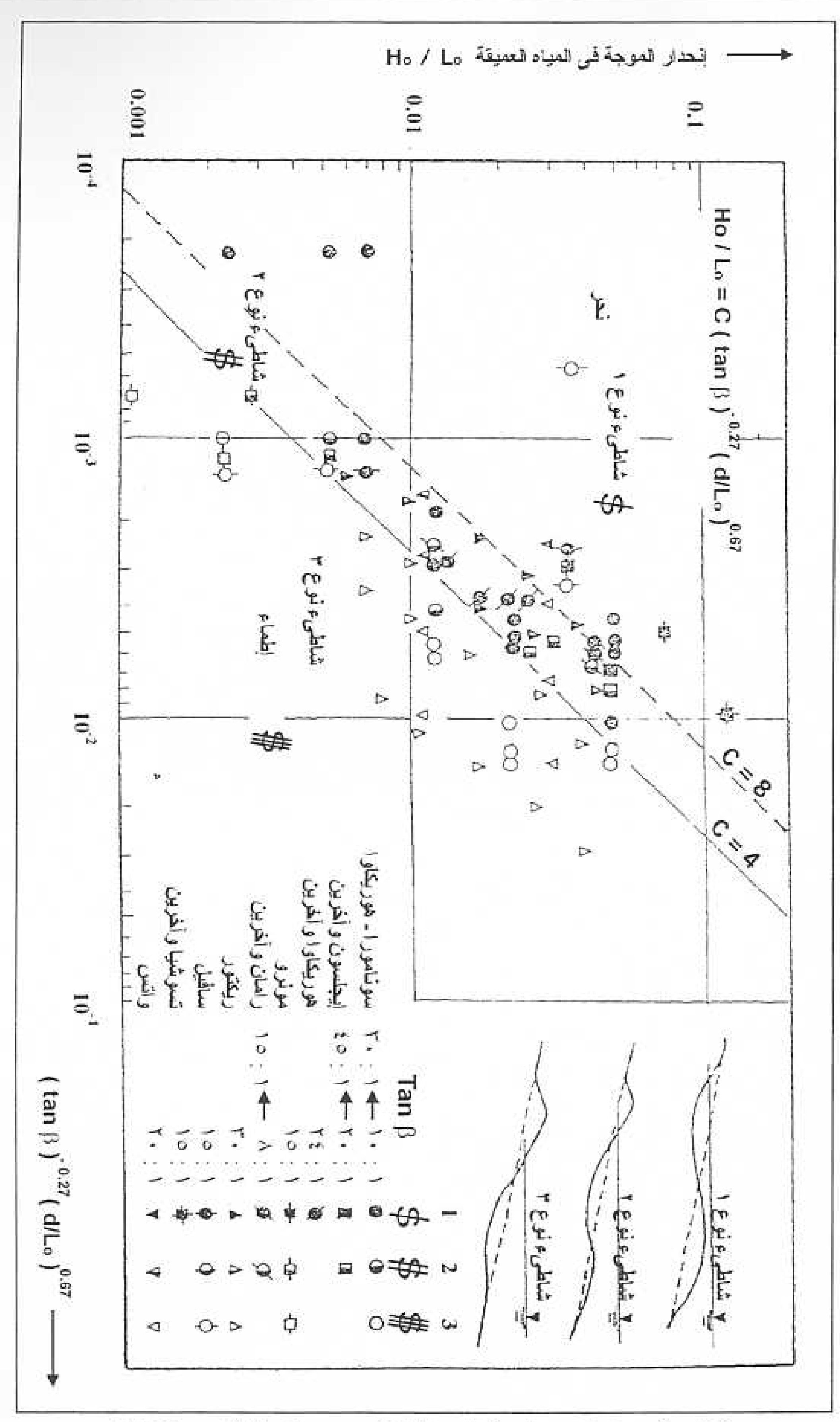


شكل رقم (١-٤٤) بيان حركة مواد القاع فى منطقة شاطئية

ففي حالة إذا كان الطرف الأيسر من المعادلة (١-٦٦) أكبر من الطرف الأيمن يحدث نحر وفي الحالة العكسية يحدث إطماء، كما يعطي الشكل رقم (١-٤٦) نتائج بعض التجارب المعملية التي تمت فى هذا الخصوص .



شكل رقم (١-٤٥) كروكى يوضح شكل المنطقة الشاطئية الرسوبية



شكل رقم (١-٦-٤) طبيعة تغير الشاطىء من ناحية النحر والإطماء

الباب الثانى
البحوث والدراسات الحقلية وأعمال النماذج الهيدروليكية الطبيعية والرياضية

٢-١ طبيعة الموقع

٢-١-١ تحديد خصائص موقع المشروع
وهو ما يتعلق بتحديد وتوصيف كافة الجوانب الأساسية لمنطقة الدراسة وعلاقتها بتخطيط وتصميم وتنفيذ مشروعات حماية الشواطئ وتشمل:-

(١) التعرف على السمات العامة لموقع المشروع.
(٢) الزيارات الميدانية لموقع المشروع.
(٣) مصادر المعلومات عن منطقة المشروع.

٢-١-١-١ التعرف على السمات العامة لموقع المشروع
وهي تشتمل على المهام التالية:-
(أ) التعرف على السمات الطبوغرافية المميزة لموقع المشروع من الخرائط الطبوغرافية للمنطقة.
(ب) ربط موقع المشروع بشبكة المساحة العامة للجمهورية.
(ج) توضيح حدود الموقع وخصائص البنية الأساسية للمنطقة.
(د) التعرف على المعالم الطبيعية للمنطقة من حيث وجود مخرات للسيول و/أو السبخات ... الخ.
(هـ) التعرف على المنشآت المجاورة بالمنطقة وعلى مواقع الآثار والمحاجر ... الخ.

٢-١-١-٢ الزيارات الميدانية للموقع
تجرى هذه الزيارات الميدانية لإنجاز ما يلي:-
(أ) التعرف على الخصائص الطبيعية للموقع والمنشآت القائمة به ونوعيتها وتوقيع أي تعديل على الخرائط الطبوغرافية بصفة مبدئية.
(ب) استقصاء المعلومات عن طبيعة المنطقة من المقيمين بمنطقة المشروع والتعرف على وجهة نظرهم فى الظروف الطبيعية التي تواجه المنطقة.
(ج) التعرف على شكل خط الشاطئ وتسجيل أية ملاحظات تتم مشاهدتها عن طبيعة موقع المشروع.
(د) إجراء تصوير فوتوغرافي يوضح معالم وطبيعة منطقة المشروع.
(هـ) التعرف المبدئي على طبيعة التربة فى منطقة الشاطئ.

٢-١-١-٣ مصادر المعلومات عن منطقة المشروع

٢-١-١-٣-١ الخرائط الطبوغرافية
يتم الحصول على الخرائط الطبوغرافية من الهيئة المصرية العامة للمساحة، ومن المساحة العسكرية، ومن مركز الاستشعار عن بعد. وهي يتم إنتاجها بمقياس رسم ١:١٠٠٠ وحتى ١:٥٠٠٠ بأساليب المساحة الأرضية، ويتم إنتاجها بمقياس رسم ١:٥٠٠٠ وحتى ١: ٢٥٠٠٠ بأساليب المساحة الجوية.

٢-١-١-٣-٢ الخرائط البحرية

** يتم الحصول على الخرائط البحرية من الادميرالية البريطانية بصفة أساسية، كما قد يمكن الحصول عليها أيضا من المساحة البحرية الأمريكية ومن غيرها من المصادر. وذلك لمعرفة أعماق المياه العميقة البعيدة عن الشاطئ ذات الأعماق الأكبر من ١٠ متر. وهذه الخرائط تعطى دقه مقبولة، نظرا لأن التغير فى مناسيب القاع فى تلك المياه العميقة يكون عادة محدودا.

** بالنسبة للخرائط الخاصة بخطوط الكنتور فى المناطق الشاطئية القريبة من الشاطئ فإنها قد تتوافر لدى بعض الجهات وفقا لنطاق اختصاصاتها، مثل معهد بحوث الشواطئ – بالإسكندرية، والمعهد القومي لعلوم البحار والمصايد ، والهيئة المصرية العامة لحماية الشواطئ، وهيئة الموانئ والمنائر، ومركز أبحاث هيئة قناة السويس، وشركات التنقيب عن البترول والهيئات الملاحية والجهات التي لديها مشروعات ساحليه كبيرة٠٠٠الخ٠ ونظرا للتغير المستمر فى أعماق المنطقة الشاطئية فإنه يفضل دائما استخدام خرائط حديثه كلما أمكن ذلك أو التأكد من صلاحيتها أو تحديثها وفقا لمقتضيات الغرض المطلوبة له.

٢-١-١-٣-٣ خصائص مياه البحر والظواهر البحرية

** يتم الحصول على المعلومات البحرية الخاصة بخصائص مياه البحر (درجة الحرارة والملوحة والأوكسجين المذاب) من أطلس المعلومات البحرية والذي يصدر من معاهد علوم البحار الدولية مثل المعهد القومي لعلوم البحار و الجامعات المصرية ومعهد " وودز هول" لعلوم البحار بالولايات المتحدة الأمريكية:

(Woods Hole Oceanographic Institution, Atlas Series, Massachusetts)

** يتم الحصول على المعلومات البحرية الخاصة بالمد والجزر والتيارات البحرية بالموانى وبالمياه الشاطئية المصرية من هيئات الموانى ومن المعهد القومي لعلوم البحار والمصايد ومن معهد بحوث الشواطئ ومن هيئة قناة السويس ،كما أنه يمكن الحصول علي تنبؤات المد والجزر من مطبوعات الادميرالية البريطانية والهيئة الاستشارية لتطوير نظم الرصد الدولي للبحار والمحيطات:

(Ocean Observing System Development Panel, Global Observing System, U.S.A.)

** يتم الحصول على المعلومات البحرية الخاصة بالأمواج المستنتجة من بيانات أرصاد السفن فى المناطق القريبة من منطقة الدراسة أو من نتائج القياسات الحقلية التي تمت لمشروعات بحرية قريبة من منطقة الدراسة، وذلك من بنوك المعلومات أو من الجهات التي قامت بهذه الدراسات أو المشروعات، ومن أهم هذه الجهات كل من:- معهد بحوث الشواطئ، الهيئة المصرية العامة لحماية الشواطئ، شركات التنقيب عن البترول، المعهد القومي لعلوم البحار والمصايد، إدارة الدراسات والبحوث بوزارة التعمير، الجامعات، هيئة قناة السويس وهيئات الموانى، مع الأخذ فى الاعتبار أن بيانات أرصاد السفن هي بيانات تقديرية.

٢-١-١-٣-٤ المعلومات الجوية

يتم الحصول على بيانات الأرصاد الجوية من هيئة الأرصاد الجوية وذلك من تسجيلات إحدى المحطات التابعة لها الموجودة على مقربة من منطقه الدراسة. كما أنه قد يمكن الحصول على بعض بيانات

الأرصاد الجوية من القياسات التي تمت لبعض المشروعات البحرية الكبيرة مثل عمليات شركات التنقيب عن البترول.

٢-١-١-٣-٥ المعلومات الجيولوجية

** يتم الحصول على هذه المعلومات من الخرائط الطبوغرافية المتاحة والتقارير الجيولوجية والصور الجوية التي تصدرها الهيئة العامة للمساحة الجيولوجية والجامعات وشركات التنقيب عن البترول ومركز الاستشعار عن بعد.

** كما يمكن الحصول علبها من خلال إجراء حفر مكشوفة أو تثقيبات أو اختبارات حقلية بالموقع – إن أمكن - وتعيين السمات الطبيعية وخصائص التربة السطحية أو ما تحت السطحية من تلك الأعمال.

٢-١-١-٣-٦ المعلومات المتعلقة بالتغيرات الطبيعية السطحية

** يتم الحصول عليها من مقارنة الخرائط الطبوغرافية و الصور الخاصة بالتصوير الجوي للمنطقة موضوع الدراسة التي تكون قد أنجزت على فترات زمنية متعاقبة.

** كما قد يمكن التعرف عليها من تحليل المعلومات التاريخية المتاحة الخاصة بتطور المنطقة الشاطئية وتأثيرها على المنشآت المجاورة.

** كذلك قد يستدل عليها من تحديد أي أعمال صناعية تمت في منطقة الشاطئ.

٢-١-٢ البيانات اللازمة لدراسة الموقع

يعتمد تحديد البيانات اللازمة للدراسة على طبيعة المشروع والغرض منه وعلى دراسة التأثير البيئي للمشروع. و بصفة عامة يراعى توافر البيانات التالية عن الموقع:-

١- خصائص الأمواج فى المياه العميقة واتجاهها.
٢- الخرائط الكنتورية لجسات الأعماق فى المنطقة الشاطئية.
٣- قطاعات بحرية عمودية على خط الشاطئ لتحديد ميول المنطقة الشاطئية.
٤- التيارات الشاطئية فى المنطقة القريبة من الشاطئ.
٥- أرصاد الرياح.
٦- الخصائص الطبيعية للتربة السطحية.
٧- تثقيبات برية وبحرية لتحديد الخصائص الطبيعية والميكانيكية للتربة.
٨- المنشآت البحرية المجاورة بالمنطقة ومصبات الأنهار إن وجدت.
٩- حركة الكثبان الرملية (إن وجدت).

ويوضح الجدول رقم (٢-١) العلاقة بين البيانات المطلوبة والهدف منها. بينما يوضح الشكل رقم (٢-١) تتابع تغير خصائص الأمواج وتأثيراتها على ديناميكية المنطقة بالقرب من الشاطئ والقوى والضغوط على المنشأ البحري والطرق المستخدمة لتحليل الأمواج فى كل مرحلة.

جدول رقم (٢-١) العلاقة بين البيانات المطلوبة والهدف منها

البيانات المطلوبة / الهدف من البيانات			الأمواج: ضحولة الأمواج	الأمواج: الأمواج فى المنطقة الشاطئية	الأمواج: الأمواج فى منطقة التكسر	الأمواج: الأمواج الطويلة	التيارات: التيارات القريبة من الشاطئ	التيارات: الإنتشار الأفقى	التيارات: التيارات بالقرب من القاع	حركة مواد القاع: الحركة على القاع	حركة مواد القاع: حركة المواد العالقة	حركة مواد القاع: الحركة الموازية للشاطئ	حركة مواد القاع: الحركة العمودية على	حركة مواد القاع: الحركة تحت تأثير الأمواج والتيارات	التغيرات الطبوغرافية
الأمواج	الأمواج الساقطة	التوزيع الطيفى الترددى	O	O	O	O	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	O	Δ	Δ	O
		التوزيع الطيفى المتجه	O	O	O	O	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	O	Δ	Δ	O
	الأمواج عند الموقع	تغير سطح المياه	O	O	O	O			O	Δ	Δ		Δ	Δ	
		التوزيع الإحتمالى لإرتفاع الأمواج	O	O		O	Δ					Δ			Δ
	مناسيب المد والجزر		Δ			O									
	إرتفاع التكسر						Δ					Δ			Δ
التيارات	التيارات عند الموقع	متوسط السرعة				Δ	O					O		Δ	
		تراوح السرعة		Δ	Δ	Δ	O		O	O	O		Δ	O	
		التوزيع الإحتمالى للسرعة					O	Δ			O	Δ			Δ
	التيارات الساحلية وتيارات المد والجزر						Δ								
حركة مواد القاع	حركة مواد القاع عند الموقع	تركيز المواد العالقة									O				
		مصيدة الرمال								O	O		O	O	
		إستخدام مواد كاشفة										O		O	
	خصائص مواد القاع				Δ				Δ	O	O	O	O	O	O

O بيانات أساسية للدراسة

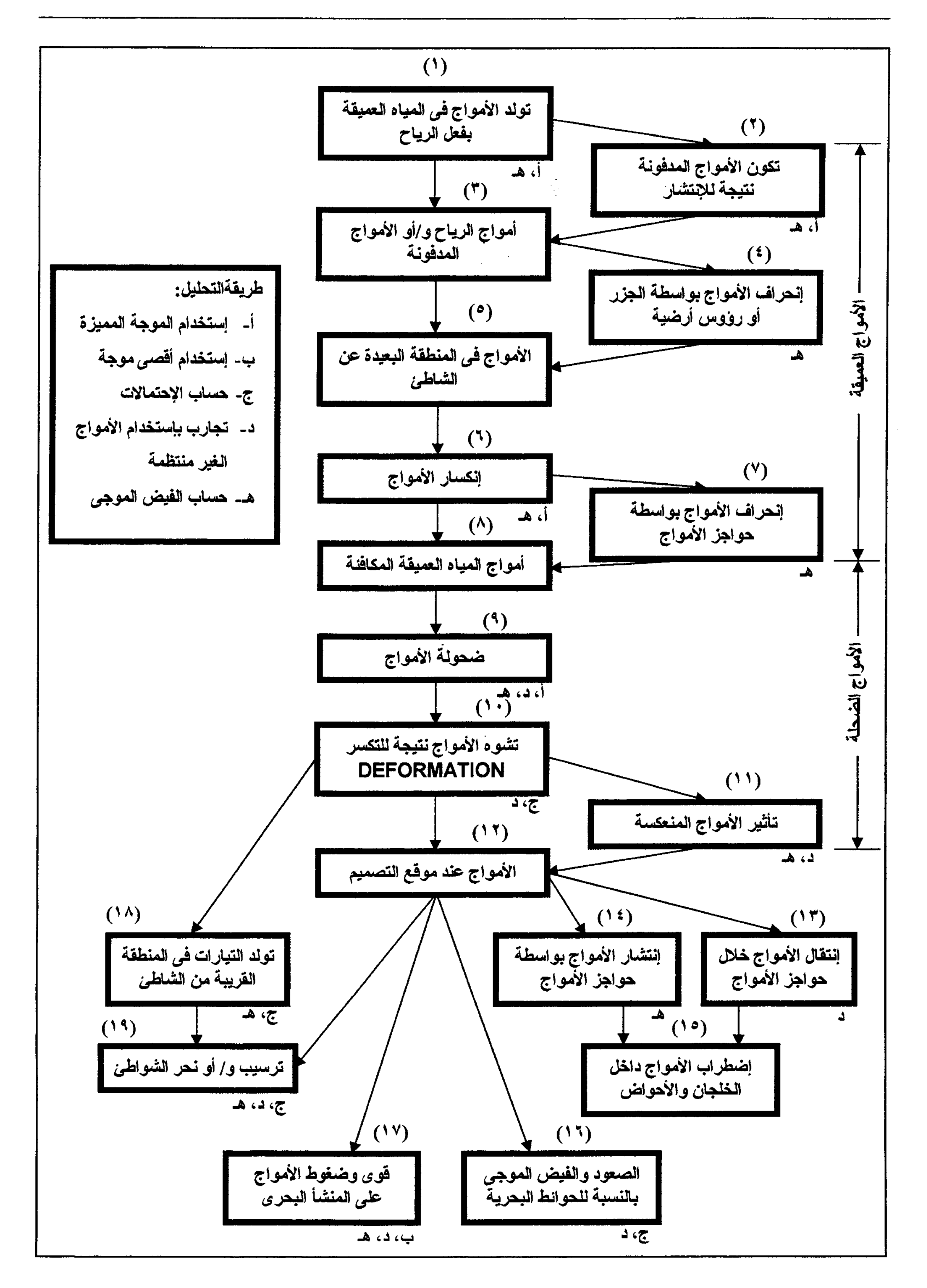
Δ بيانات يفضل توافرها

تابع جدول رقم (٢-١)

البيانات المطلوبة / الهدف من البيانات		الأمواج				التيارات			حركة مواد القاع					التغيرات الطبوغرافية
		ضحولة الأمواج	الأمواج فى المنطقة الشاطئية	الأمواج فى منطقة التكسر	الأمواج الطويلة	التيارات القريبة من الشاطئ	الإنتشار الأفقى	التيارات بالقرب من القاع	الحركة على القاع	حركة المواد العالقة	الحركة الموازية للشاطئ	الحركة العمودية على الشاطئ	الحركة تحت تأثير الأمواج والتيارات	
طبوغرافية القاع	تموج قاع البحر							O	Δ	Δ				
	تغير رمال السطح								Δ				Δ	
	شكل قاع البحر										O			O
	وضع خط الشاطىء													O
الأرصاد الجوية		Δ			Δ	Δ	Δ							Δ

O بيانات أساسية للدراسة

Δ بيانات يفضل توافرها



شكل رقم (٢-١) تتابع تغير خصائص الأمواج وتأثيرها على المنطقة الشاطئية والمنشآت البحرية

٢-١-٣ وضع خطة دراسة المشروع

١- تجميع كافة المعلومات والبيانات المتاحة عن طبيعة منطقة المشروع لتقليل نفقات القياسات الحقلية نظرا لكونها باهظة التكاليف.
٢- تقييم كافة المعلومات والبيانات المتاحة لتحديد القياسات الحقلية المطلوب استكمالها للدراسة ومدتها.
٣- تحديد طرق تحليل البيانات.
٤- تحليل الخرائط الخاصة بطبيعة المنطقة لتحديد كيفية تمثيل هذه المنطقة فى حالة استخدام نماذج رياضية أو طبيعية مصغرة أو كلاهما وتحديد المعلومات اللازمة لمعايرة هذه النماذج.

٢-٢ القياسات الحقلية

٢-٢-١ هدف القياسات الحقلية

تنفذ عادة برامج القياسات الحقلية بهدف جمع أو استكمال البيانات والمعلومات اللازمة لإجراء أي من الأعمال التالية:-

١- الدراسات والبحوث الخاصة بتخطيط المنشآت البحرية والمنطقة الشاطئية.
٢- تصميم المنشآت البحرية.
٣- تصميم ومعايرة النماذج الطبيعية المصغرة والنماذج الرياضية.
٤- متابعة تأثير الإنشاءات البحرية على الاتزان البيئي للمنطقة الشاطئية وعلى خط الشاطئ.
٥- الدراسات والبحوث الخاصة بدراسة الظواهر المناخية والبحرية المؤثرة على النحر والترسيب (الإطماء) في المنطقة الشاطئية وكذا التغير فى منسوب مياه البحر.

٢-٢-٢ تخطيط أعمال القياسات الحقلية

تشمل القياسات الحقلية قياس خصائص الأرصاد البحرية (الأمواج - التيارات الشاطئية - تغير مناسيب المياه - حركة المواد الرسوبية - تغير الأعماق) وقياس الخصائص الطبيعية والكيميائية للمياه والتعرف على تغير هذه الخصائص طبقا للمكان والزمان. ونظرا لارتفاع تكاليف أعمال القياسات الحقلية فأنه يجب تحديد مدة إجراء هذه القياسات وفترات القياس الموسمية على مدار العام بكل عناية والتخطيط لها بدقه مع تحديد نوعيتها لتحقيق الهدف من الدراسة بأقل التكاليف.

٢-٢-٢-١ التمهيد لأعمال القياسات الحقلية

ويشمل ما يلي:-

١- تجميع البيانات والمعلومات المتاحة عن طبوغرافية المنطقة.
٢- استكشاف الموقع والتعرف على طرق الوصول إليه.
٣- تحديد أهداف القياسات.
٤- تحديد الظواهر والخصائص المطلوب قياسها ومدة القياس اللازمة ومواقع القياس.
٥- تحديد المعدات اللازمة للقياسات.
٦- وضع خطة تنفيذ القياسات الحقلية وتشمل:-

* تحديد إحداثيات منطقة القياسات.
* تحديد تاريخ بدء القياسات.
* تحديد القوى والخبرات البشرية اللازمة لإجراء القياسات ووسائل النقل و الإقامة.

* تحديد وسائل وطرق تأمين الا جهزه المستخدمة فى القياسات.
* تعيين وسائل تركيب وتثبيت أجهزة ومعدات القياسات.
* تعيين وسائل إجراء أعمال القياسات.
* تعيين وسائل فك ورفع أجهزه ومعدات القياسات.
* تحديد طرق تحليل النتائج.
* تقدير تكاليف إجراء القياسات.

٢-٢-٢ زيارة موقع القياسات الحقلية

من المهم بمكان إجراء زيارة مسبقة لموقع القياسات الحقلية وذلك للتعرف على طبيعه العمل به ولإمكان وضع الخطة التنفيذية لأعمال القياسات المقترحة وعلى الأخص جمع المعلومات التالية:-

١) المعلومات العامة عن الموقع والتي تشمل:-
أ- مدى سهولة أعمال النقل والانتقال فى المنطقة.
ب-إمكانية العمل فى منطقة حرم الشاطئ.
ج- توافر برج أو أسكلة بالمنطقة لاستخدامها فى عمليات الرصد والملاحظة.
د- توافر مصدر للطاقة الكهربائية المطلوبة للأجهزة المستخدمة وللإقامة.
هـ- توافر أماكن للإعاشة وللمخازن أو لإنشاء معسكر بالقرب من الموقع.
و- توافر مرسى للوحدات البحرية فى منطقة المشروع أو بالقرب منه.
ز- حجم النشاط البحري بالمنطقة وخاصة أعمال الصيد.
ح- التعرف على طبوغرافية المنطقة.

٢) إجراء استقصاء من قاطني المنطقة عن طبيعة المنطقة وتغيراتها.

٣) إجراء تصوير فيديو وفوتوغرافي للمنطقة الشاطئيه وتغيراتها.

٤) تحديد أي منشآت بحريه بالقرب من المنطقة.

٥) اختيار وتحديد المواقع الثابتة بالمنطقة لاستخدامها فى عمليات الرصد المساحي. وتعيين نقط المثلثات بدرجاتها المختلفة القريبة من الموقع والروبيرات المساحية.

٦) الحصول علي البيانات المناخية والبحرية المتاحة عن المنطقة أو أي منطقة قريبة منها.

٧) الاتصال بالجهات الإدارية المهيمنة علي المنطقة لتأمين سلامة الأجهزة والمعدات خلال فترة القياسات.

٢-٢-٣ منظومة القياسات الحقلية

تشمل منظومة القياسات الحقلية بصفة عامة ما يلي:-

٢-٢-٣-١ تحديد إحداثيات مواقع القياسات

يعتبر تحديد إحداثيات مواقع القياسات والجسات البحرية من المتطلبات الأساسية فى برامج القياسات الحقلية.

ويتوقف اختيار الطريقة المستخدمة على:

أ - درجة الدقة المطلوبة فى تحديد موقع القياسات.
ب - طبيعة منطقة الدراسة.
ج - البعد عن خط الشاطئ.
د - مساحة المنطقة المطلوب إجراء القياسات أو الجسات بها.

٢-٢-٣-٢ قياسات الأرصاد الجوية

تعتبر الرياح هي العامل الأساسي فى توليد أمواج البحر القصيرة ويتم الحصول على البيانات المتعلقة بأرصاد الرياح من محطات الرصد الجوي المقامة بمنطقة الدراسة أو القريبة منها وكذا من السفن المتواجدة بالقرب من منطقة الدراسة ومن أهم مكونات عناصر الأرصاد الخاصة بالرياح هي سرعة الرياح واتجاهاتها والضغط الجوي.

٢-٢-٣-٣ قياسات خصائص الأمواج (ارتفاع الموجة وترددها)

تتم إما بالملاحظة المباشرة أو باستخدام مقياس الموجه:-

أ - الملاحظة المباشرة:-

* تستخدم في تعيين ارتفاع الأمواج المتكسرة باستخدام قامة وملاحظة خط مدى البصر الأفقي الذي يقطع القامة عند خط قمة الموجه المتكسرة.
* رصد الحركة الرأسية لعوامة باستخدام تليسكوب المقياس البعدي.
* باستخدام تصوير استريو.

ب - مقياس الموجه:-

وتستخدم العديد من الطرق فى قياس الموجه ومنها قياس عجلة الحركة الرأسية لشمندورة سطحيه أو قياس التغير فى الضغط الناشئ من تشكل الموجه أو قياس التغير فى المقاومة أو السعه الكهربية بين موصلين كهربائيين نتيجة لتغير منسوب سطح المياه أو باستخدام الموجات فوق الصوتيه٠٠٠الخ.

٢-٢-٣-٤ قياسات اتجاه الأمواج

يتم بالوسائل التالية:-

أ- الملاحظة المباشرة لزاوية خط قمة تكسر الموجه مع خط الشاطئ وذلك باستخدام لوحه مساحية من فوق برج على الشاطئ.

ب- بتطبيق نظام المصفوفات والتى تعتمد على نظريه التحول المباشر لفوريير (D.F.T.) أو (Fast Fourier Transform - F.F.T) على قياسات منسوب سطح البحر فى ثلاث نقاط قياس يتم احتساب البعد فيما بينها على اساس الطول الموجى او بقياس التيار فى اتجاهين متعامدين مع قياس التغير فى منسوب سطح البحر عند نفس النقطه.

جـ- مقياس تأرجح ودحرجة الشمندورة السطحية.

د - استخدام نظام الاستشعار عن بعد.

٢-٢-٣-٥ قياسات المد والجزر

يتم قياس التغير فى منسوب سطح المياه إما باستخدام عوامات تتحرك رأسيا مع تغير منسوب المياه أو بقياس الضغط الناشئ عن تغير منسوب المياه أو باستخدام قامة مدرجة.

٢-٢-٣-٦ قياسات التيار

تتم بالوسائل التالية:-

١- الملاحظة المباشرة برصد مسار حركة عوامة أو مواد كاشفه "Tracers".

٢- باستخدام مقياس التيار: وتستخدم العديد من الطرق والتي تعتمد على طبيعة التيار وموقع القياس بالنسبة لسطح المياه وقاع البحر.

٢-٢-٣-٧ قياسات الأعماق و تعيين طبوغرافية القاع

قياس الأعماق ذات أهمية كبيرة لاستخدامها في الأغراض التالية:-

١- تصميم المنشآت البحرية.
٢- تحديد كميات التطهير لأعمال الإنشاءات البحرية أو الطرق الملاحية.
٣- تعيين مقدار الترسيب (الإطماء) أو النحر.
٤- حسابات معامل الانكسار ومعامل الضحولة.
٥- تحديد منطقة تكسر الأمواج.

يتم قياس الأعماق بالوسائل التالية:-

* جهاز الجس الصوتي.
* استخدام الصندة.
* إجراء مسح لقاع البحر بواسطة السونار.

٢-٢-٣-٨ قياسات حركة المواد الرسوبية

تستخدم لقياسها عدة طرق تعتمد على ما يلي:-

أ - أخذ عينات من تربة الطبقة السطحية للشاطئ.
ب- استخدام مواد كاشفة (فلورسنتية أو مشعة).
جـ- قياس درجة تركيز المواد المعلقة.
د - تصوير قاع البحر.

٢-٢-٣-٩ قياسات أخرى

وتشمل قياسات درجة حرارة المياه - درجة ملوحة المياه – حركة انتقال المواد الرسوبية بواسطة الرياح . . . الخ.

٢-٢-٤ اختيار نظم القياس

يعتمد اختيار نظام القياس على:-

١- الغرض من القياسات.
٢- وسيلة وضع وتثبيت الأجهزة.
٣- طول فترة القياسات.

٤- الفترة الزمنية بين القراءات المتتالية.
٥- مدى دقة القياسات.
٦- طبيعة الظاهرة المطلوب قياسها.
٧- منسوب تثبيت الأجهزة تحت سطح الماء.

٢-٢-٥ احتياطات إجراء القياسات

١- ضرورة إجراء معايرة للأجهزة قبل بدء القياسات ودوريا أثناء الاستخدام.

٢- ضرورة أن يتم زيارة موقع تثبيت الأجهزة دوريا للتأكد من:-
- استمرارية تسجيل الأجهزة.
- سلامة معدات تثبيت الأجهزة.
- عدم فقد آي من أجهزة القياس.

ويفضل تكثيف مرات زيارة الموقع لمتابعة عمل أجهزة القياس والرصد فى حالة وجود نشاط صيد ملحوظ فى منطقة القياسات.

٣- في حالة إجراء قياسات لحظية للتيار يراعى أن تتم فى حالة قوة رياح أقل من ٤ بيفورت حتى لا تتأثر القياسات بحركة الوحدة العائمة نتيجة للأمواج. كذلك يجب أن يكون منسوب الشمندورة الغاطسة المستخدمة فى حالة القياسات المستمرة أوطى من أدنـى منسوب للمياه نتيجة لتأثير الضغط الجوي والأمواج والمد والجزر .

٢-٢-٦ المعدات والأجهزة المستخدمة فى تحديد المواقع التي تقع بالبحر

يستخدم فى تحديد المواقع المتواجدة بالبحر أما معدات عاديه أو معدات إلكترونية.

٢-٢-٦-١ المعدات العادية

١- لتحديد موقع شمندوره (أو عوامة) من البر:-

أ - باستخدام جهازي تيودوليت يوضعان على مسافة محدده على خط قاعدة ويرصد موقع الشمندورة بجهازي التيودوليت فى نفس الوقت تماما. وبمعلومية الزاويتين المقاستين ومواقع جهازي التيودوليت يتم تحديد موقع الشمندورة.
ويصعب استخدام هذه الطريقة فى حالة رصد عائمة متحركة.

ب - باستخدام محطة الرصد المتكاملة (Total Station)ويتم ذلك باحتلال نقطة على خط القاعدة و ترصد الشمندورة لمعرفة المسافة الأفقية و الزاوية بينها وبين خط القاعدة.

٢- لتحديد موقع شمندوره أو عوامة من البحر:

في هذه الحالة يتم رصد الشمندورة أو العوامة باستخدام السكستان لقياس الزوايا التي تشكلها مع عدد من العلامات الثابتة على الشاطئ و بحد أدنى ثلاث نقاط علي البر . كما يمكن استخدام محطة الرصد المتكاملة "Total Station" .

ويمكن الرجوع إلى مراجع المساحة البحرية لمعرفة الطرق الحسابية لتعيين الموقع على الخرائط المساحية.

٢-٢-٦-٢ المعدات الإلكترونية

١- باستخدام نظام الموجات الكهرومغناطيسية القصيرة والمتوسطة ويتراوح تردد الموجات المتوسطة بين ٥ر١ إلى ٤ ميجاهرتز والموجات القصيرة بين ٣٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ ميجاهرتز وتصل دقة هذا النظام ± ٢متر٠ ويوضح الشكل رقم (٢-٢-أ) هذا النظام.

ويعتمد هذا النظام فى تحديد المواقع على تركيب أجهزة الاستقبال والإرسال (محطة رئيسيه) على الوحدة البحرية المراد تحديد مواقعها بالنسبة لمحطتين تابعتين على الأرض. حيث يتم فيهما تثبيت عواكس للإشارات الكهرومغناطيسية المرسلة لها وعن طريق حساب فروق التزامن بين الإشارات المرسلة من المحطة الرئيسية والمستقبلة على الوحدة البحرية يمكن تحديد الموقع.

كذلك يتم تحديد المواقع باستخدام محطات إرسال أرضية متزامنة (محطة رئيسيه ومحطتين تابعتين) تغطى بإرسالها مساحة معينة يتوقف اتساعها على التردد المستخدم وقدرة المحطة الرئيسية وطبوغرافية المنطقة. ويتم تركيب أجهزة الاستقبال على الوحدات البحرية المراد تحديد موقعها بالنسبة لمحطات الإرسال ألا رضية. ويوضح الشكل (٢-٢-ب) هذا النظام.

٢- استخدام نظام الأقمار الصناعية "G.P.S" حيث انتشر هذا النظام حاليا على المستوى العالمي ويعتمد هذا النظام على مجموعه من أقمار صناعية "Navstar" عددها ٢١ قمرا أصليا بالإضافة إلي ٣ أقمار احتياطية، والتي تعتبر كمحطات معلومة الموقع فى الفضاء بالنسبة للنظام الجيوديسي العالمي "WGS84" وترسل إشاراتها المشفرة إلى أي جهاز استقبال متوافق للتعامل مع هذه الإشارات على التردد ٤٢ر١٥٧٥ ميجاهرتز. وتتولى أجهزة الاستقبال حل الشفرة المرسلة لتحديد موقعها بالأبعاد الثلاثة وتحليل فروق تزامن الموجات الحاملة للإشارات من الأقمار المختلفة لتحديد الموقع الأرضي ، ولزيادة الدقة فى تحديد الموقع يستخدم نظام "Differential G.P.S" بإضافة محطة أرضية مساعدة محددة الموقع بخطوط الطول والعرض للتعامل مع الأقمار الصناعية من جهة ومع المحطة المركبة من جهة أخرى.

٢-٢-٧ طرق قياس وتسجيل الأرصاد الجوية (الضغط الجوي وسرعة الرياح واتجاهها)

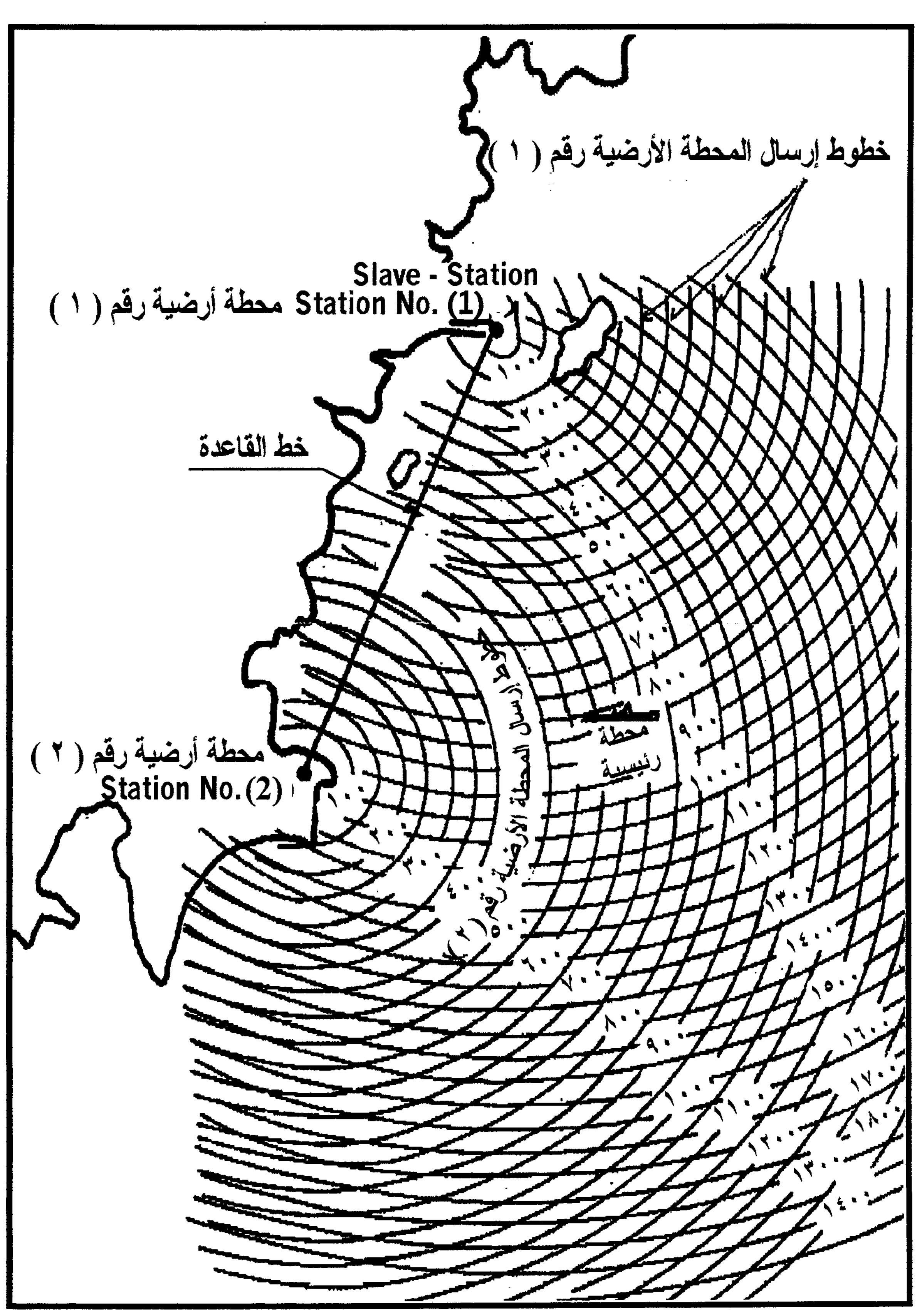
٢-٢-٧-١ الضغط الجوي

١- البارومتر الزئبقي.
٢- الباروجراف.

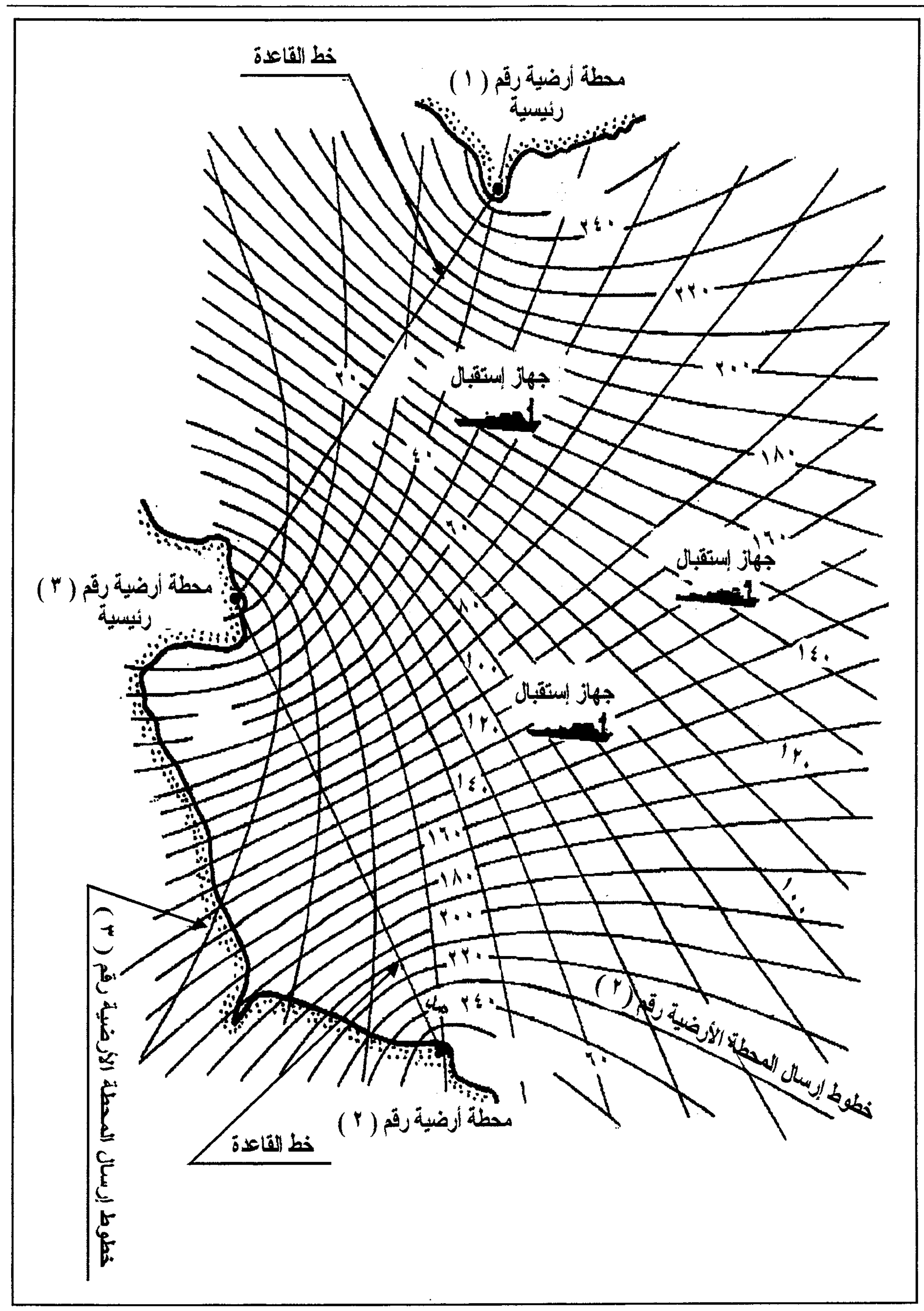
يتركب الباروجراف من سلسله من العلب المفردة جزئيا ذات أغطيه مرنه ويتغير حجم الصناديق مع كل تغير للضغط ويتم تسجيل هذا التغير مع الزمن أوتوماتيكيا بعدة طرق من طرق التسجيل٠

٢-٢-٧-٢ سرعة الرياح واتجاهاتها

يتم قياس سرعة الرياح واتجاهاتها باستخدام جهاز يتكون من دواره لقياس طاقة الحركة الناشئة عن الرياح (سرعة الرياح) و زعنفه لتحديد اتجاه الرياح ووحدة للتسجيل وهى إما مبينات للقراءة اللحظية لسرعة واتجاه الرياح أو شرائط ورقيه أو ممغنطه لتسجيل سرعة واتجاه الرياح٠



شكل رقم (٢-٢ أ) تحديد الموقع بإستخدام الموجات الكهرومغناطيسية
(محطة رئيسية على اللنش ومحطتين على الشاطئ



شكل رقم (٢-٢ ب) محطة رئيسية ومحطتين تابعتين على الشاطئ
وأجهزة إستقبال على اللنشات

٢-٢-٨ تحليل أرصاد الرياح

ينحصر مجالها في:-

١- إجراء تحليل إحصائي لبيانات الرياح فى منطقة الدراسة ويفضل أن لا تقل فترة تسجيل هذه البيانات عن حوالي ١٠ سنوات على أن يوضح هذا التحليل توزيع حدوث الرياح من الاتجاهات المختلفة ومدى سرعاتها المختلفة.

٢- إجراء تحليل إحصائي للتغير فى الضغط الجوى وذلك من البيانات المتاحة من محطات الأرصاد ومن الخرائط المناخية.

ويقصد بتحليل البيانات الخاصة بالرياح هي عملية تحديد سرعاتها واتجاهاتها والفترة الزمنية التي تهب خلالها من أي اتجاه. ويعرّف اتجاه هبوب الرياح على مكان ما بدلالة الاتجاه الذي تأتى منه الرياح كما يعرّف الاتجاه السائد للرياح بالاتجاه الذي تهب منه الرياح لأطول مده (مجموع المدد) على مدار العام. وفى مصر تعتبر الرياح الشمالية الغربية هي الرياح السائدة.

ويتم بيان أرصاد الرياح بالعديد من الطرق من أهمها ما يلي:-

أ- **منحنى القوة المحوري:-**
وفيه يبين الشعاع المركزي الاتجاه الذي تهب منه الرياح ويوقع على اتجاهات الأشعة أطوال تمثل المدد التي هبت خلالها الرياح بسرعة معينة من اتجاه ينطبق مع اتجاه الشعاع الموقع عليه وتوقع سرعات الرياح عموديا على اتجاهات هذه الأشعة – كما هو موضح بالشكل رقم (٢-٣).

ب- **منحنى المدد المركزي:-**
وفيها تمثل الاتجاهات بنفس الطريقة السابقة وتوقع المدد على هيئة أبعاد تقاس من مركز الدائرة بينما توقع السرعات التي تهب بها الرياح من اتجاه معين مقاسه من منحنى المدد وفى نفس الاتجاه كما هو مبين بالشكل رقم (٢-٤).

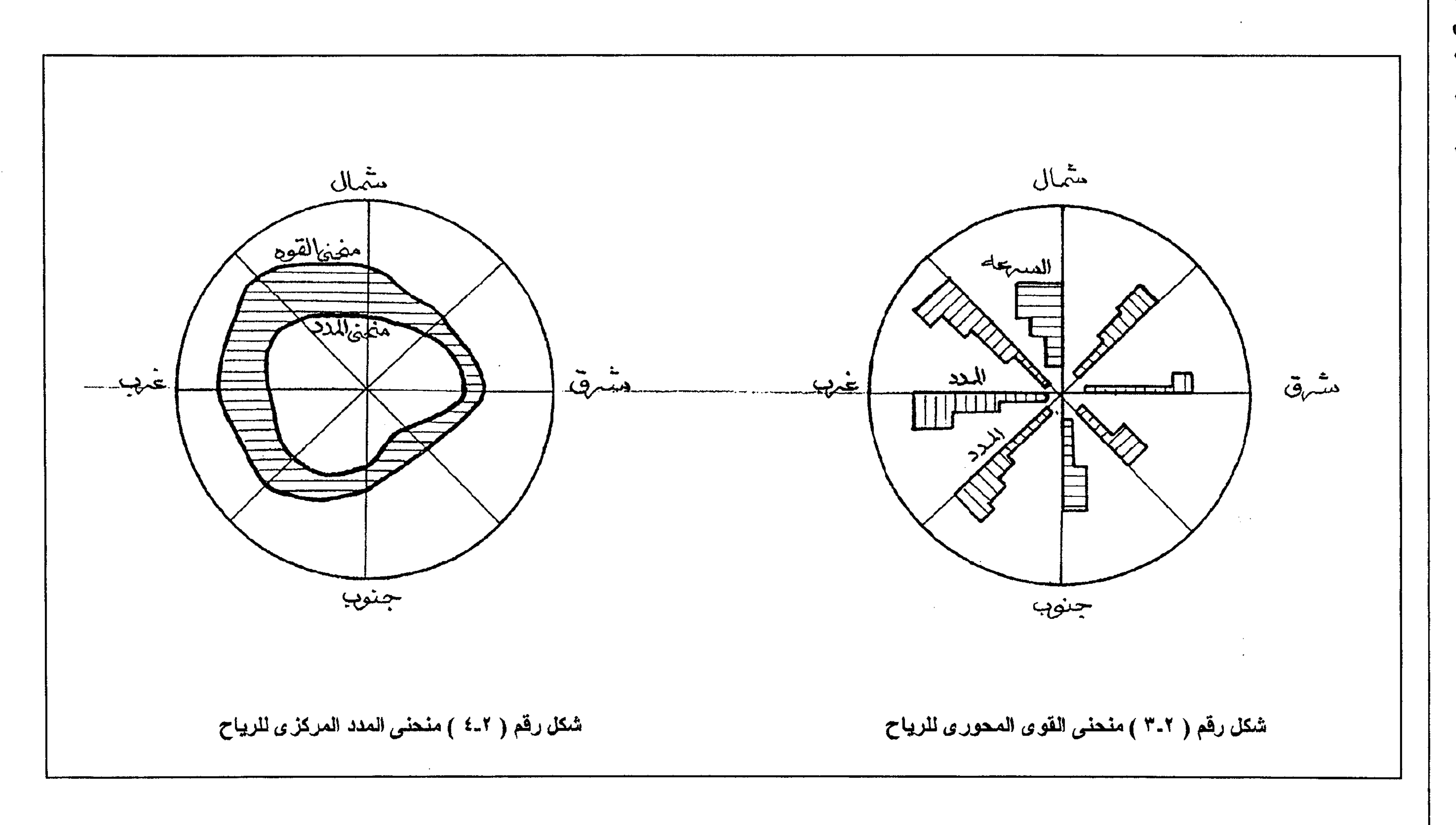
جـ- **وردة الرياح:-**
وفيها ترسم مجموعه متمركزة من الدوائر تحدد النسبة المئوية لمدد هبوب الرياح وتحدد الفترة الزاوية اتجاه هبوب الرياح ويوقع على أطوال هذه الاتجاهات (الفترة الزاوية) سرعة الرياح. ويوضح الشكل رقم (٢-٥) وردة الرياح.

٢-٢-٩ طرق قياس التيار

٢-٢-٩-١ الرصد المباشر باستخدام العوامات

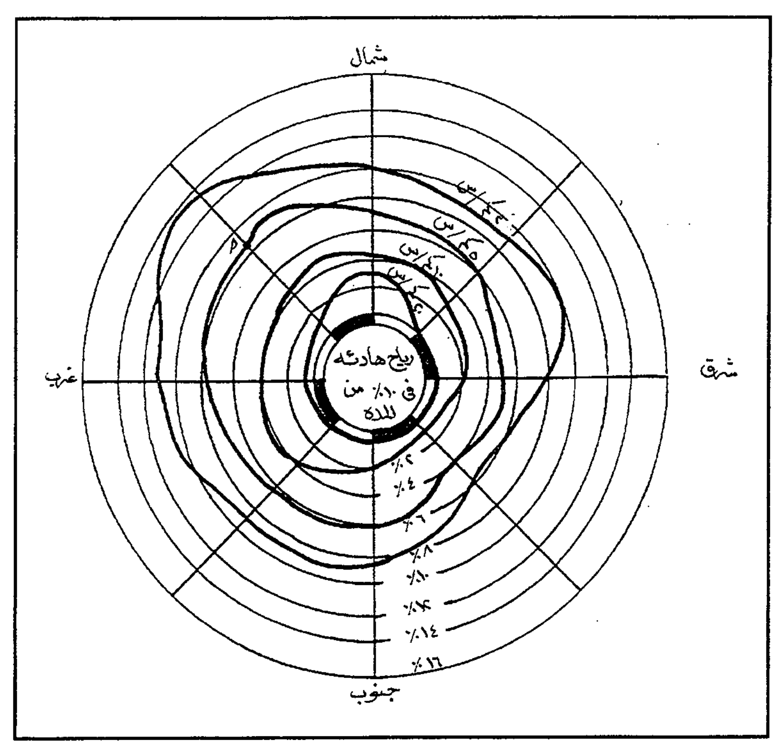
١- تعتبر من اكثر الطرق شيوعا لتحديد مسار التيارات البحرية وخاصة فى منطقة تكسر الأمواج.
٢- يشترط فى تصميم العوامة أن يراعى ما يلي:-

* أن يكون سطحها المعرض للرياح صغير بحيث لا تتأثر حركتها كثيرا بالرياح.
* سهولة رصدها من على بعد وأحيانا تثبت أعلام مختلفة الألوان فوق العوامة.



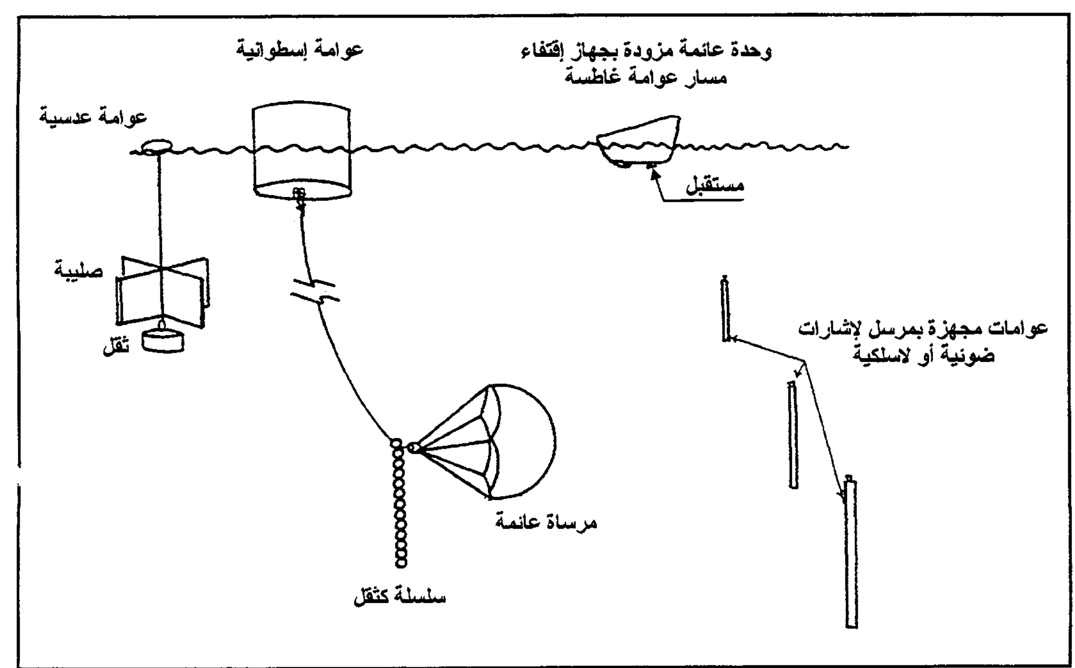
شكل رقم (٢-٣) منحنى القوى المحورى للرياح

شكل رقم (٢-٤) منحنى المدد المركزى للرياح



شكل رقم (٢-٥) وردة الرياح

* إمكانية تعيين سرعتها واتجاهها على أعماق مختلفة. لذا يعلق بالعوامة جسم على هيئة صليبه أو اسطوانة مثقوبة بواسطة سلسله يمكن تغيير طولها طبقا لعمق القياس المطلوب. وتتحرك العوامة بفعل قوى التيار على مسطح الجسم المغمور المتصل بالعوامة. وفى بعض الأحيان يتم استخدام عوامات غاطسه مجهزة بمرسل ذبذبات ضوئية أو لاسلكية حتى يمكن رصدها ويوضح الشكل رقم (٢-٦) بعض هذه العوامات.



شكل رقم (٢-٦) أنواع العوامات المستخدمة لقياس التيار

٣- فى حالة التيارات الضعيفة يفضل استخدام عوامات عدسية ذات مسطح كبير.

٤- فى حالة وجود أمواج تؤثر على دحرجة اللنش المستخدم فى أعمال القياس البحري فانه يفضل استخدام العوامات فى قياس التيار.

٥- يتم متابعة مسار العوامة كما يلي:-

* عن طريق رصدها من نقطتين تقعان على خط القاعدة والاستعانة بنقطتين معلومتي الموقع على الشاطئ؛
* برصدها باستخدام محطة الرصد المتكاملة (Total Station).

٢-٢-٩-٢ القياس باستخدام المواد الكاشفة (أو الراسمة)

ويتم استخدام مواد كاشفة مثل الصبغات الفلوروسنتية أو صبغة الرودامين لقياس سرعة التيار واتجاهه ويتم رصد حركة المواد الكاشفة أو الراسمة من قارب أو لنش يقتفي مسار انتشار الصبغة.

٢-٢-٩-٣ القياس باستخدام مقياس التيار

١- يوجد العديد من أجهزة قياس التيار لتحديد سرعة واتجاه التيار عند نقط معينه محدده الإحداثيات. وتعتمد طريقة القياس على نظامين أساسين:-

* إيجاد المتوسط العددي لسرعة واتجاه التيار خلال فتره زمنية محدده غالبا ما تتراوح بين ٥ إلى ١٠ دقائق. وفى بعض الأجهزة يتم قراءة مباشرة لاتجاه التيار ويفضل استخدام هذا النظام فى حالة عدم وجود تيارات دوامة أي خارج منطقة تكسر الأمواج، وكذا فى حالة تثبيت الأجهزة بحيث لا تتأثر بحركة التأرجح والدحرجة الناشئة عن الأمواج.

* إيجاد المتوسط الإتجاهي للقراءات خلال فترة القياسات.
  ويوضح الشكل رقم (٢-٧) طريقة تثبيت أجهزة قياس التيار.

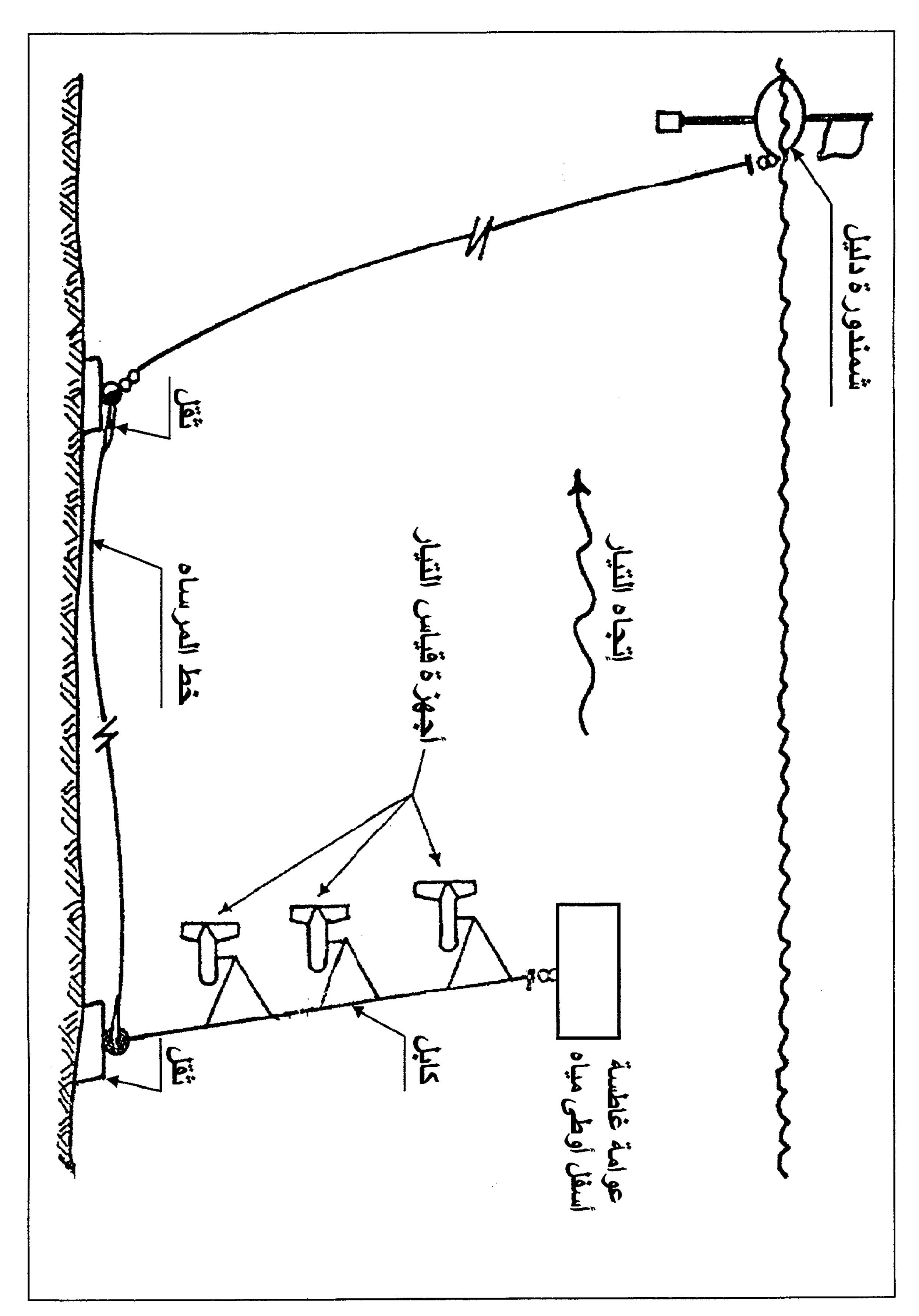
٢- تتنوع طرق قياس التيار طبقا لتصميم الجزء الحساس من مقياس التيار وهى كما يلي:-

* طريقة استخدام رفاص لقياس عزم الدوران الناشئ عن محصلة التيار كما هو موضح بالشكل (٢-٨أ).

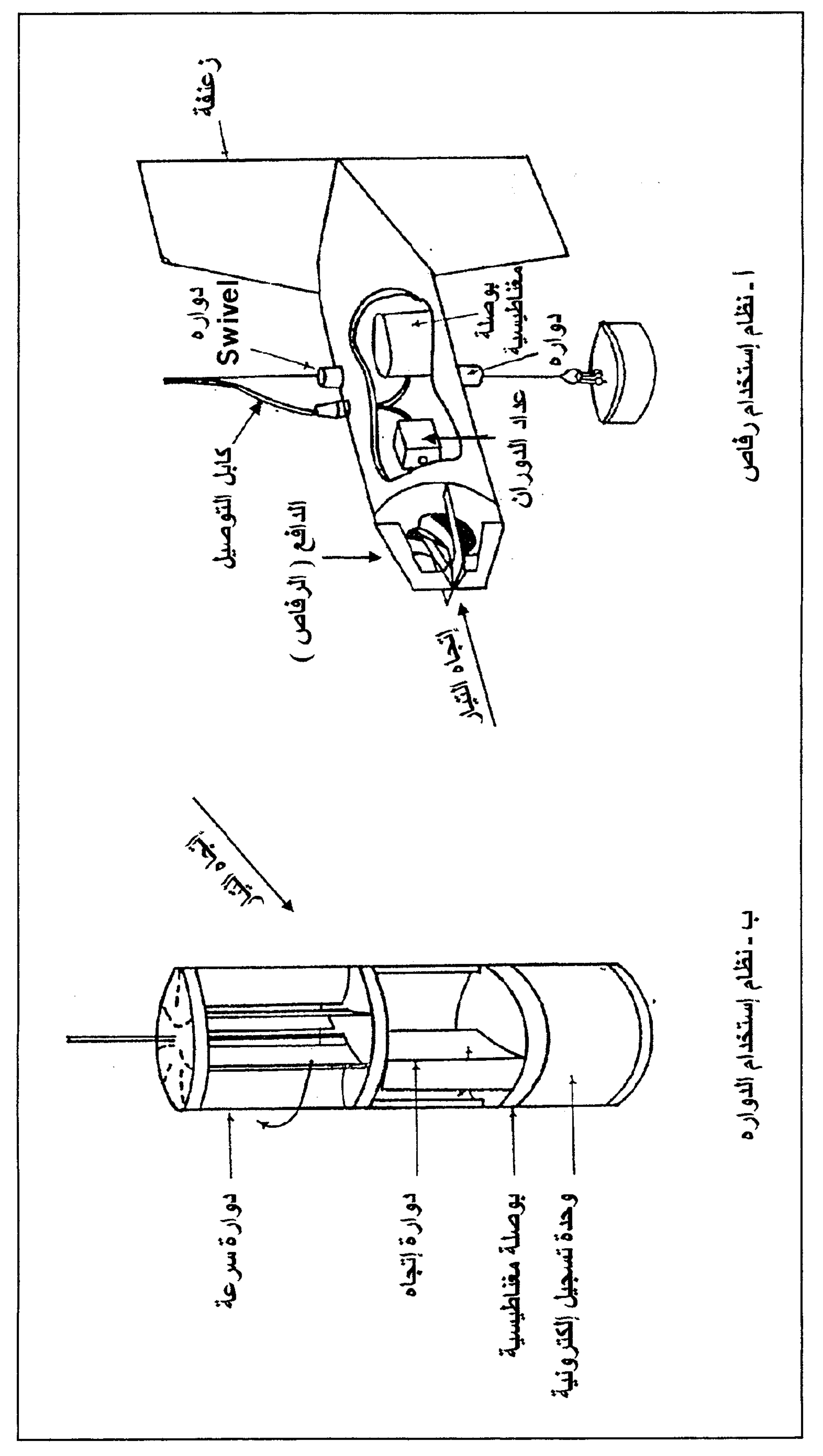
* طريقة استخدام دوارة لقياس طاقة الحركة الناشئة عن التيار كما هو موضح بالشكل رقم (٢-٨ب).

* طريقة استخدام موجات صوتيه مباشرة لقياس معدل وصول موجات الصوت المنبعث من جسم يحمله التيار لموقع ثابت والتي تتغير تبعا لسرعة التيار (خاصية دوبلر).

* طريقة استخدام خاصية المغناطيسية الكهربائية وذلك بقياس القوة المحركة الكهربائية آلتي تعتمد على سرعة التيار.



شكل رقم (٢-٧) طريقة تثبيت أجهزة قياس وتسجيل التيار



شكل رقم (٢ـ٨) أنواع الأجزاء الحساسة لمقياس التيار

٣- يوجد نظامين أساسين للحصول على بيانات التيار من أجهزة قياس التيار:-

* أجهزة قيـاس مجهزه بوحدة تسـجيل البيــانات الخاصــة بقياســات التيار وفيها يتـم التســجيـل إمـا علـى شرائــط ممغـنطه أو ذاكـرة أشبـاه أنصــاف الموصـلات Solid State Semi-Conductor Memory (Micro-Processors) ويتم تغيير وحدة التسجيل كل فتره معينه تتراوح بين عدة اسابيع أو شهرين حيث يتم بعد ذلك قراءة وتحليل البيانات باستخدام الحاسب الآلي كما يمكن استخدام نظام إرسال البيانات الخاصة بقياسات التيار لاسلكيا إلى محطة استقبال أرضيه حيث يتم قراءة وتحليل البيانـات أولا بأول.
* أجهزة قياس التيار اللحظي وهذه الأجهزة غير مجهزة بوحدة تسجيل ويتم قراءة سرعة واتجاه التيـار لحظيـا من عداد متصـل بمقيـاس التيـار سـواء مباشـرة أو باستخدام جداول خاصة للجهاز فى حالة قراءة معدل عدد اللفات وتستخدم هذه الطريقة فى حالـة إجراء القياسات لفترة قصيرة.

٢-٢-١٠ تحليل قياسات التيار

عادة يتم قياس وتسجيل سرعة واتجاه التيار بأجهزة قياس التيار خـلال فترة زمنية تتراوح بين ٥ إلى ١٠ دقائق كل ساعة. ويتم تحليل القياسات للحصول على المعلومات التالية:-

* نسبة التجاوز Percent of Exceedence.
* وردة التيار.
* تتابع متجهات التيار.
* معدلات تكرار مرات الحدوث لمدى تيارات مختلفة السرعة.
* تحليل توافقي للتيارات المدية.
* تحليل مركبات التيار.
* تحليل احتمالي لفترة العودة.

٢-٢-١١ طرق قياس مناسيب المد والجزر

أ- باستخدام القامة المدرجة:-

١- تستخدم هذه الطريقة للقياسات اللحظية لمناسيب المد والجزر.

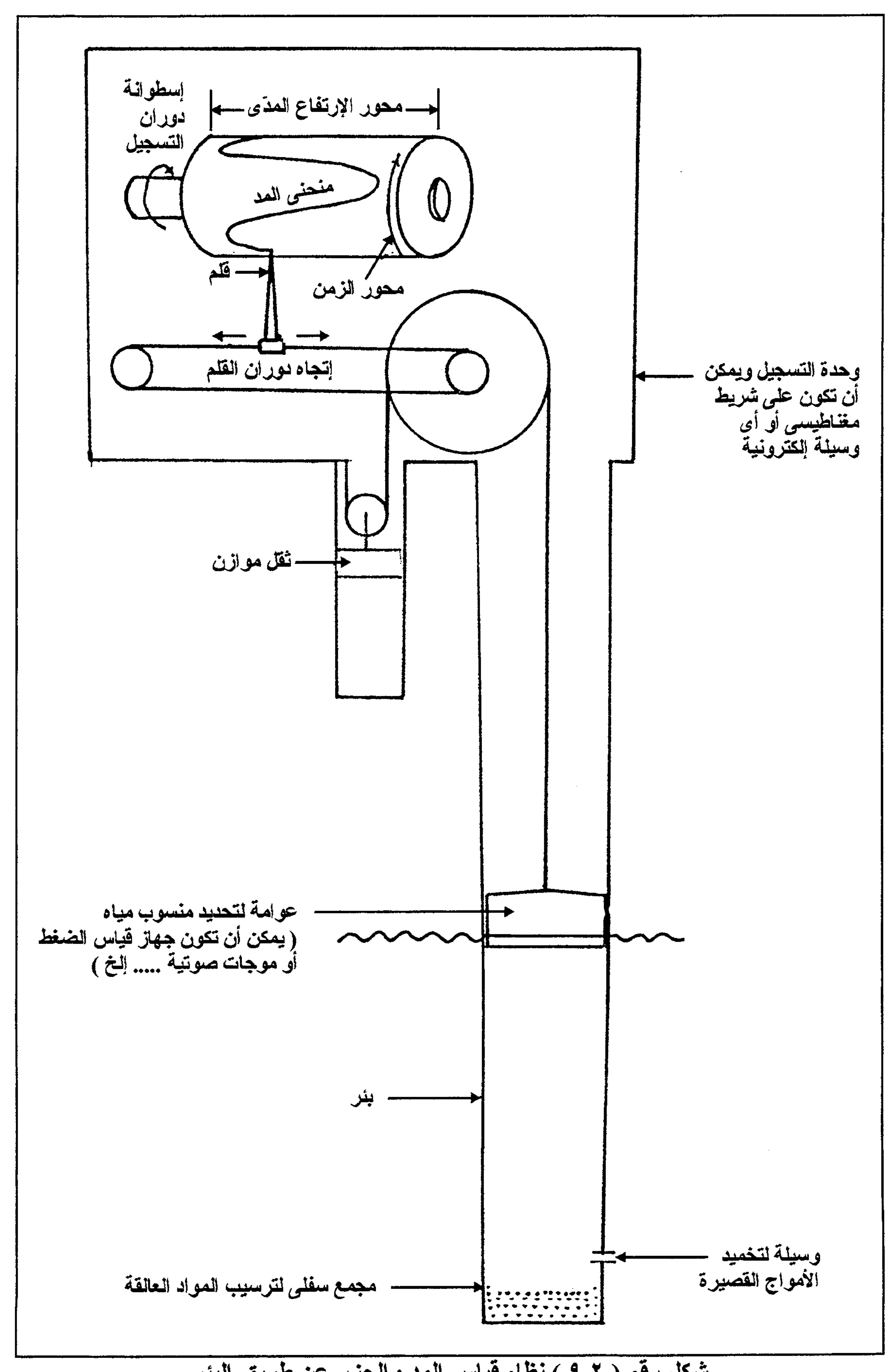
٢- يتم تثبيت القامة رأسيا على أي منشأ فى منطقة هادئة محمية من الأمواج القصيرة.

٣- تستخدم للقياسات المحدودة أو أثناء إجراء الجسات البحريـة لتحديد المنسوب خـلال فتره معينه ويتم قراءة القامة كل نصف ساعة على الأكثر خلال فترة القياسات.

ب- باستخدام مقياس المد والجزر:-

يوجد نظامين أساسيين لمقياس المد والجزر هما:-

١- الماريجراف: ويستخدم فى هذه الطريقة بئر منسوب قاعه أوطـى من أوطـى منسوب للجزر. وتتصل هذه البئر بـالبحر بماسورة بحيث يكون منسوب المياه فى البئر هادئة وتطفو بداخل هذا البئر عوامة تتحرك رأسيا تبعا للتغير فى منسوب المياه ويتم تسـجيل هـذه الحركـة أوتوماتيكيـا. ويراعـى فـى تصـميم البئـر اسـتخدام مرشـح أو فلتـر لتلافـي الأمواج القصيرة ويوضح الشكل رقم (٢-٩) هذا النظام.



شكل رقم (٢-٩) نظام قياس المد والجزر عن طريق البئر

٢- نظام استخدام جهاز الإحساس بالضغط. وهناك نوعان أحدهما يعتمد على قياس الضغط المطلق والآخر يعتمد على قياس الفرق بين الضغط المطلق والضغط الجوى (ضغط عمود المياه).

٢-٢-١٢ القياسات المرتبطة بقياسات المد والجزر

١- من الضروري إجراء قياسات لكافة الظواهر المؤثرة على تغير منسوب سطح المياه وتشمل هذه القياسات ما يلي:-

* قياسات الضغط الجوى بمنطقة الدراسة أو بالقرب منها.
* قياسات درجة حرارة المياه وملوحتها حيث تؤثر هاتان الظاهرتان على كثافة المياه.
* أرصاد الرياح.

٢- كما يجب تحديد منسوب المقارنة.

٢-٢-١٣ تحليل قياسات المد والجزر

يتم تحليل قياسات المد والجزر للحصول على المعلومات التالية:-
(أنظر كذلك بند ١-٥ فى الباب الأول)

* تعيين البيانات الشاطئية المرتبطة بتغير منسوب سطح المياه.
* تعيين أقصى ارتفاع لمنسوب المياه.
* تعيين متوسط أقصى مد ربيعي.
* تعيين متوسط أقصى مد ناقص.
* تعيين متوسط منسوب سطح المياه.
* تعيين متوسط أدنى مد ناقص.
* تعيين متوسط أدنى مد ربيعي.
* تعيين أدنى أدنى انخفاض لمنسوب المياه.
* التنبؤ بخصائص المد والجزر.

٢-٢-١٤ أعمال المسح البحري

يمكن تقسيم أعمال المسح البحري إلى نوعين كما يلي:-

نظام الجس التحديدي:-

يستخدم هذا النظام لتحديد الأعماق فى أعمال تخطيط المنشآت البحرية الشاطئية وكذا فى دراسة التغير فى الأعماق بالمنطقة القريبة من الشاطئ. ويتم فيه استخدام أدوات الجس التالية:-

* فلوكة أو قارب للجس يتحرك على امتداد خط القطاع.
* فلوكة أو شمندورة لتثبيت موقع نهاية القطاع.
* واير طوله يتحدد حسب الأبعاد المطلوب قياسها ويفضل أن يقل عن ٥ر١ كم ويثبت على هذا الواير عوامات لتعويم الواير وكذا علامات لتحديد مواقع الجسات وبعدها عن خط القاعدة.
* شواخص لتحديد اتجاه القطاع.

* سلسلة مثبت بها علامات نحاسية لبيان العمق بالمتر والديسمتر ومثبت فى نهايتها ثقل أو قرص حديدي زنته حوالي ٥ كجم ويسمى بالصندة. ويمكن الاستعاضة عن الصندة فى قياس الأعماق باستخدام جهاز يدوي للجس الصوتي.
* قامة لقياس الأعماق القريبة من الشاطئ وحتى عمق ٢ متر.

ويوضح الشكل رقم (٢-١٠) طريقة إجراء الجس (ثبر الأعماق) التحديدي. ويتم إجراءه على النحو التالي:-

١- عمل خط قاعدة قريبا من خط الشاطئ وعادة يكون موازياً لخط الشاطئ.
٢- تثبيت مواقع لعدد من القطاعات البحرية التي تكون عادة متعامدة على خط القاعدة.
٣- تحديد مواقع الجسات على امتداد خط القطاع وتحدد أبعادها حسب ميل الشاطئ وطبيعة كنتورية القاع ومقياس رسم خريطة الجسات.
٤- قراءة أو تسجيل المد والجزر فى نفس وقت إجراء جسات القطاع البحري كل ١٠ دقائق و عند بداية ونهاية جسات القطاع البحري.
٥- تصحيح قياس الأعماق بقراءات المد والجزر المأخوذة فى نفس زمن عمل الجسات للحصول على العمق الفعلي بالنسبة إلى منسوب المقارنة.

ب - نظام الجس على نطاق واسع (المسح البحري):-

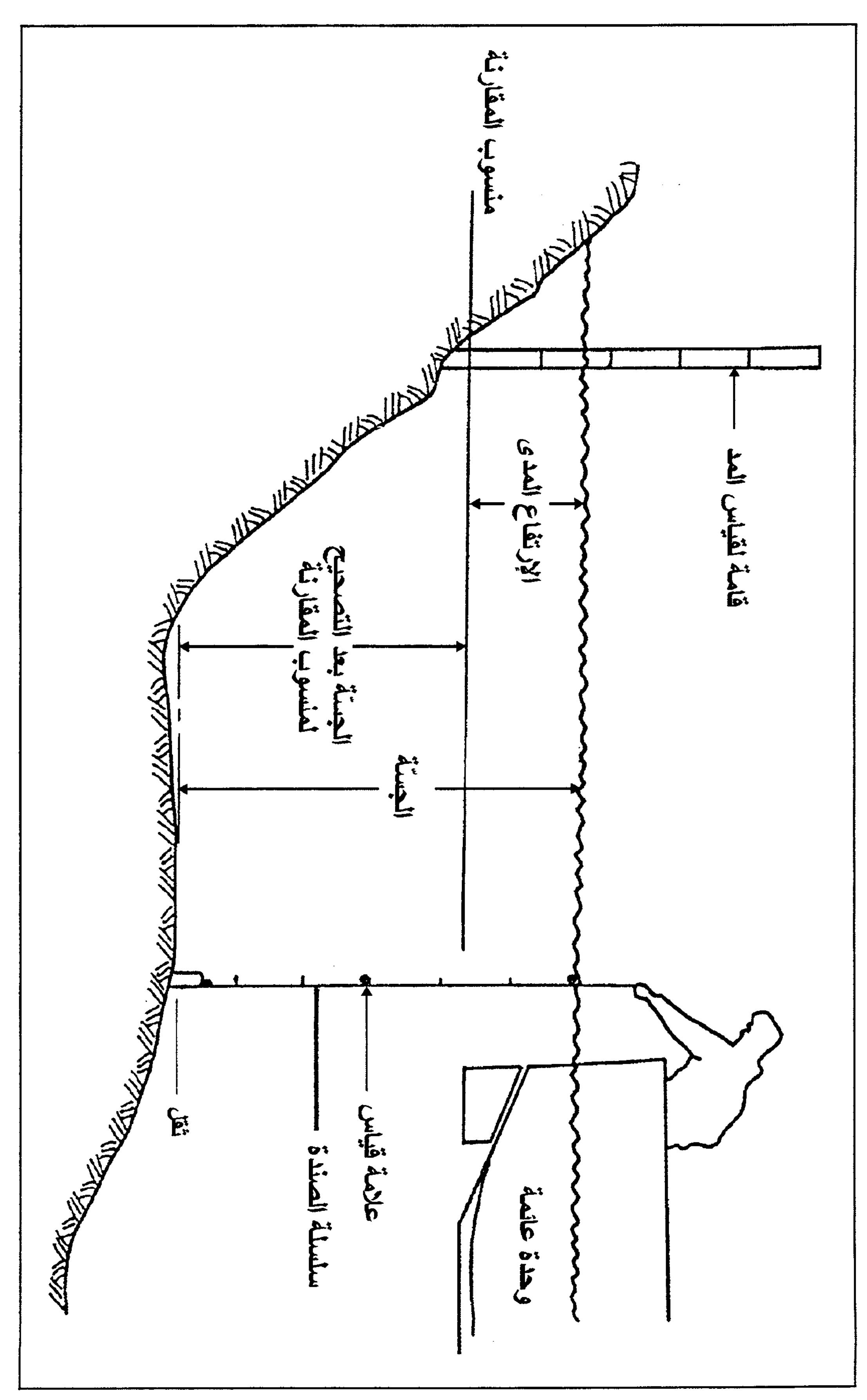
تستخدم هذه العملية لتحديد الأعماق عند تخطيط المنشآت البحرية البعيدة عن الشاطئ وفي أعمال تخطيط الموانى والممرات الملاحية ٠٠٠الخ. ويستخدم فى هذا النظام الوسائل الإلكترونية لتحديد المواقع ولنش مجهز بأجهزة الجس الصوتي لقياس الأعماق. ويوضح الشكل رقم (٢-١١) عمليات المسح البحري على نطاق واسع.

ويستخدم جهاز الجس الصوتي لقياس الأعماق الذي يعتمد على انعكاس الموجات الصوتية على القاع ويتم قياس الزمن بين إرسال الموجة الصوتية واستقبال صدى الصوت لهذه الموجة والذي يعتمد على عمق المياه.

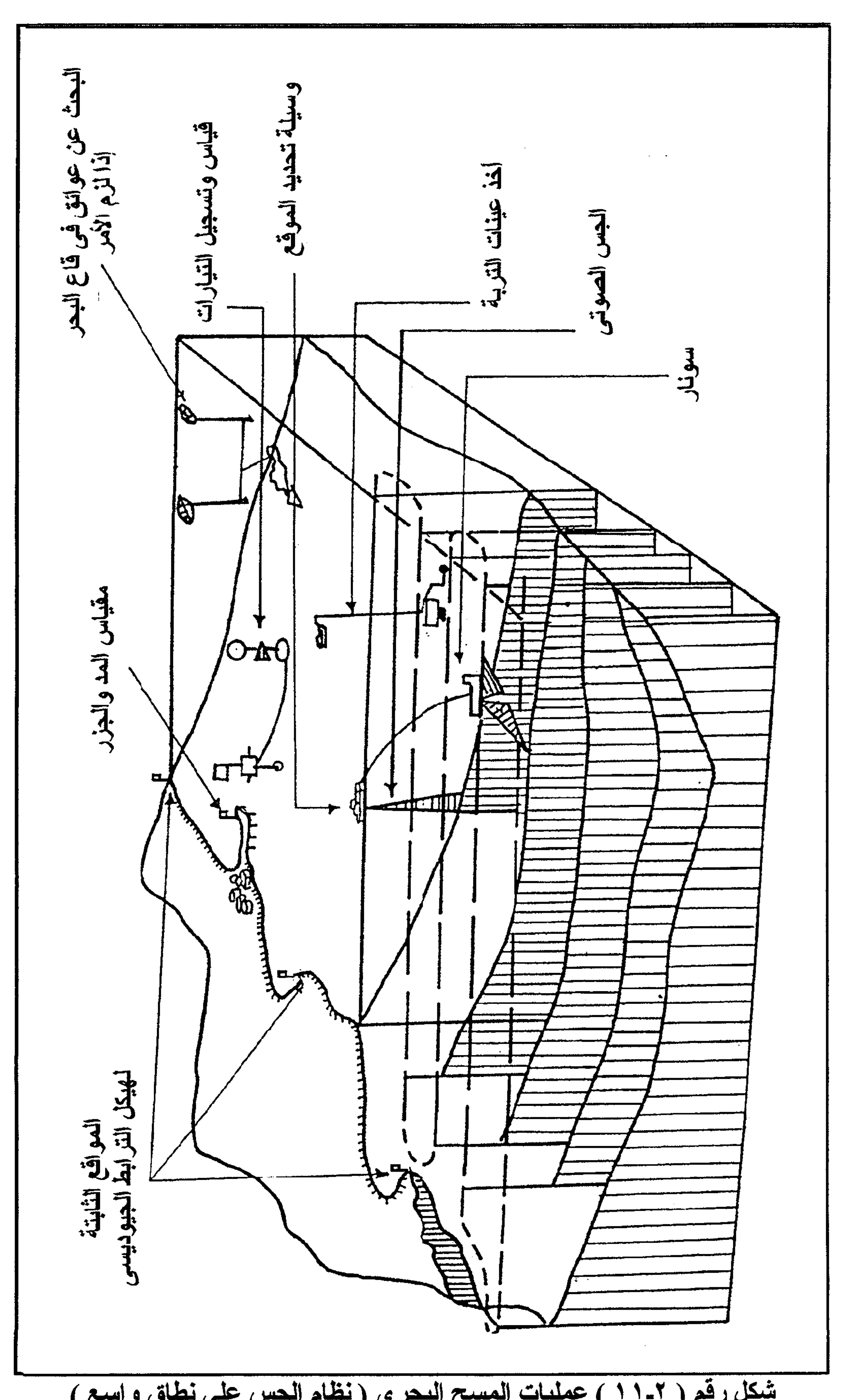
ويفضل فى حالة التربة الطينية استخدام جهاز ذو تردد مزدوج حيث يتم استقبال الموجة الصوتية للتردد العالي بعد انعكاسها على السطح الفاصل بين القاع والمياه أما التردد الواطي فانه سيخترق الطبقة اللينة من الطين وينعكس على الطبقة المتماسكة أسفلها وبالتالي يحدد سمك طبقة الطين اللين أو الطري.

يجب مراعاة النقاط التالية عند إجراء الجسات:-

* ضرورة إجراء معايرة لجهاز الجس الصوتي فى الطبيعة قبل أي استخدام خاصة فى المياه الضحلة (أقل من ٣٠ متر عمق). حيث أن سرعة الصوت تعتمد على درجة حرارة المياه ودرجة الملوحة والكثافة وهذه العوامل تختلف على مدار اليوم والسنة ومع عمق المياه. وتتم المعايرة باستخدام قضيب المعايرة على أعماق مختلفة ويفضل أن تتم هذه المعايرة عدة مرات يوميا قبل وبعد المياه العالية والواطية.
* إجراء التصحيح الناتج عن غاطس الوحدة البحرية المستخدمة على عمق الجسات المقاسة.
* إجراء الجسات فى أحوال جوية وبحريه هادئة أو استخدام أجهزة لقياس دحرجة لنش الجسات وإجراء تصحيح للقياسات نتيجة لهذه الدحرجة.



شكل رقم (٢-١٠) نظام الجس التحديدى



شكل رقم (٢-١١) عمليات المسح البحرى (نظام الجس على نطاق واسع)

* تسجيل منسوب سطح المياه أثناء إجراء أعمال الجسات البحرية وإجراء التصحيح بالنسبة لمنسوب المقارنة.
* لتحديد شكل تكوينات القاع بدقه يفضل أن يستخدم مع أعمال الجس الصوتي أجهزة السونار المقطعي والذي يعطى صوره واضحة لتشكل القاع.

٢-٢-١٥ طرق قياس الأمواج

تقاس الأمواج بعدة أساليب وفيما يلي بيان بأهم تلك الطرق والأجهزة المستخدمة في القياس:-

أ - **طريقة استخدام الشمندورة السطحية المجهزة "راكب الموجة" "Wave Rider":-**

يتم فى هذه الطريقة قياس وتسجيل عجلة تحرك شمندورة سطحيه مجهزة طبقا لحركتها مع شكل الموجة وذلك باستخدام جهاز قياس التعاجل. كما يتم أيضا قياس وتسجيل تأرجح ودحرجة الشمندورة لتحديد اتجاه الأمواج. وتستخدم هذه الطريقة لقياس الطيف الإتجاهي للأمواج فى المياه العميقة أو المتوسطة. ويوضح الشكل رقم (٢-١٢) شمندورة القياس.

ب - **طريقة استخدام جهاز الإحساس بالضغط:-**

يتم فى هذه الطريقة قياس وتسجيل التغير فى ضغط عمود المياه الناشئ عن تغير سطح المياه مع الزمن طبقا لشكل الموجه وذلك باستخدام أجهزة الإحساس بالضغط. وتستخدم هذه الطريقة لقياس الطيف الموجي فى المياه المتوسطة العمق. ويوضح الشكل رقم (٢-١٣) إحدى الأجهزة التي تستخدم نظام الإحساس بالضغط.

وتراعى النقاط التالية عند استخدام هذا الجهاز:-

١- فى حالة تثبيت الجهاز على القاع يفضل أن لا يزيد العمق عن ٢٠ مترا. أما فى حالة تثبيته معلقا فى المياه فيجب مراعاة أن تكون حركته الأفقية أقل ما يمكن. ويوضح الشكل رقم (٢-١٤) طرق تثبيت الجهاز.
٢- يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عمق المياه فوق منسوب الجهاز عند ضبط المقياس للتسجيل.

جـ- **طريقة مقياس الموجة:-**

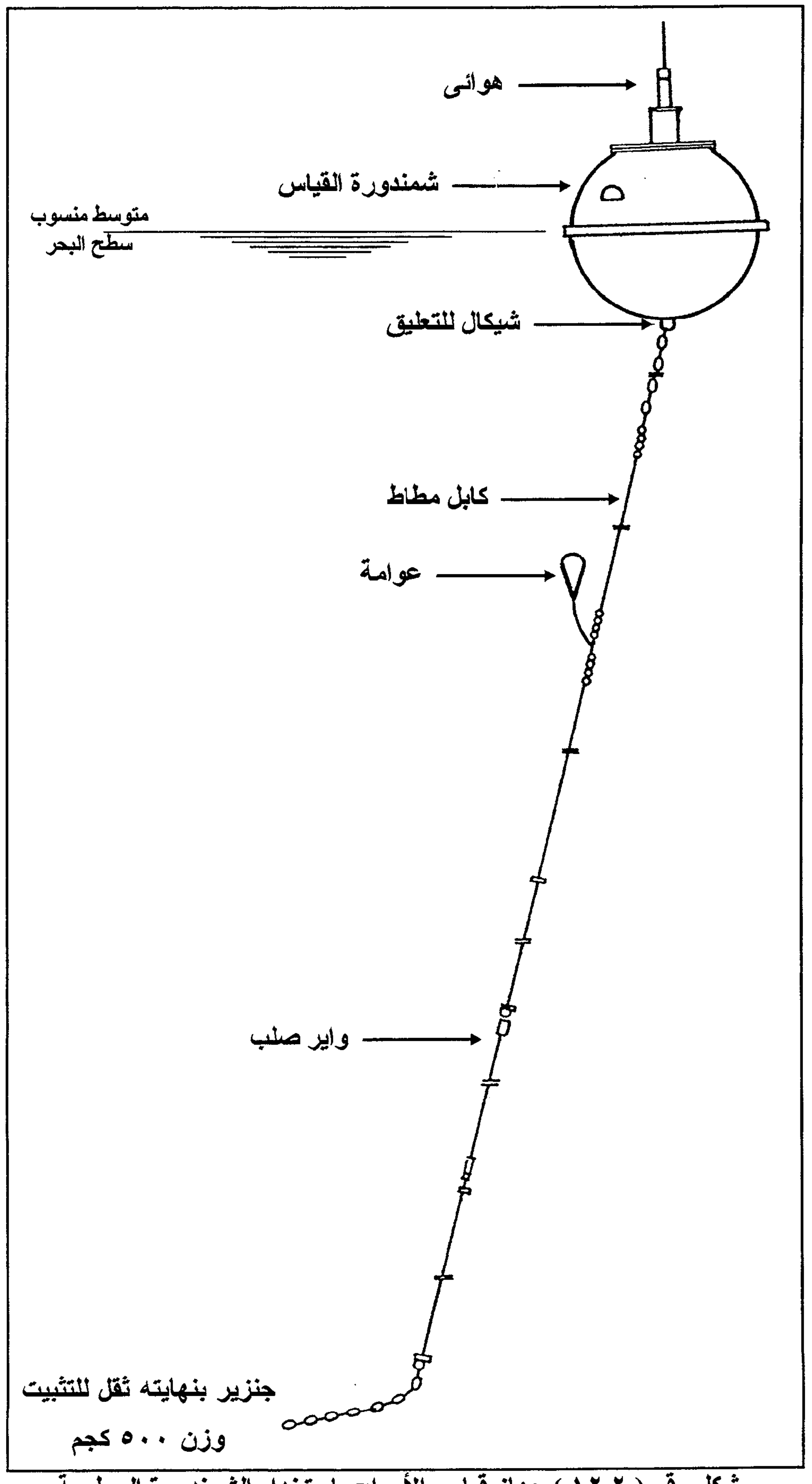
ويتم فى هذه الطريقة قياس المقاومة أو السعه الكهربائية بين موصلين كهربائيين. ويتوقف التغيير فى المقاومة أو السعه الكهربائية على التغير فى سطح المياه طبقا لشكل الموجة. ويتم تثبيت الموصلين على أي منشأ بحري ثابت بحيث يكون جزء من طول الموصلين مغمور فى المياه. وتستخدم هذه الطريقة لقياس ارتفاع وتردد الأمواج ويوضح الشكل (٢-١٥) هذا المقياس.

د - **طريقة القياس باستخدام الرادار:-**

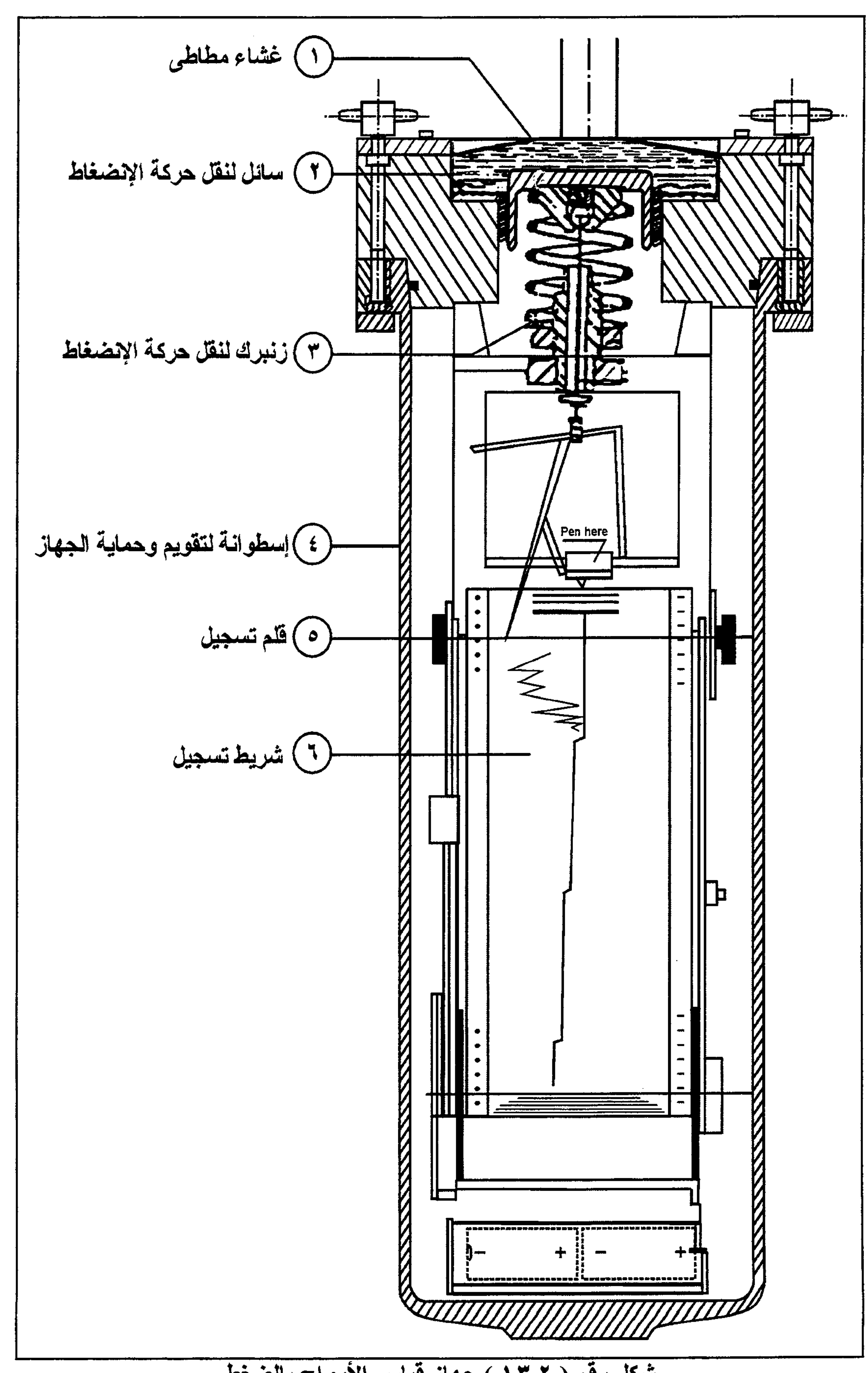
وتعتبر هذه الطريقة باهظة التكاليف لرصد حالة الأمواج لفترة طويلة ولكنها تستخدم عادة لفترات قصيرة لرصد التغير فى حالة الأمواج أثناء تقدمها من المياه العميقة إلى المياه الضحلة وكذلك لتحديد الطيف الإتجاهي. ويوضح الشكل (٢-١٦) استخدام الرادار فى قياس الأمواج.

هـ- **طريقة استخدام الموجات فوق الصوتية:-**

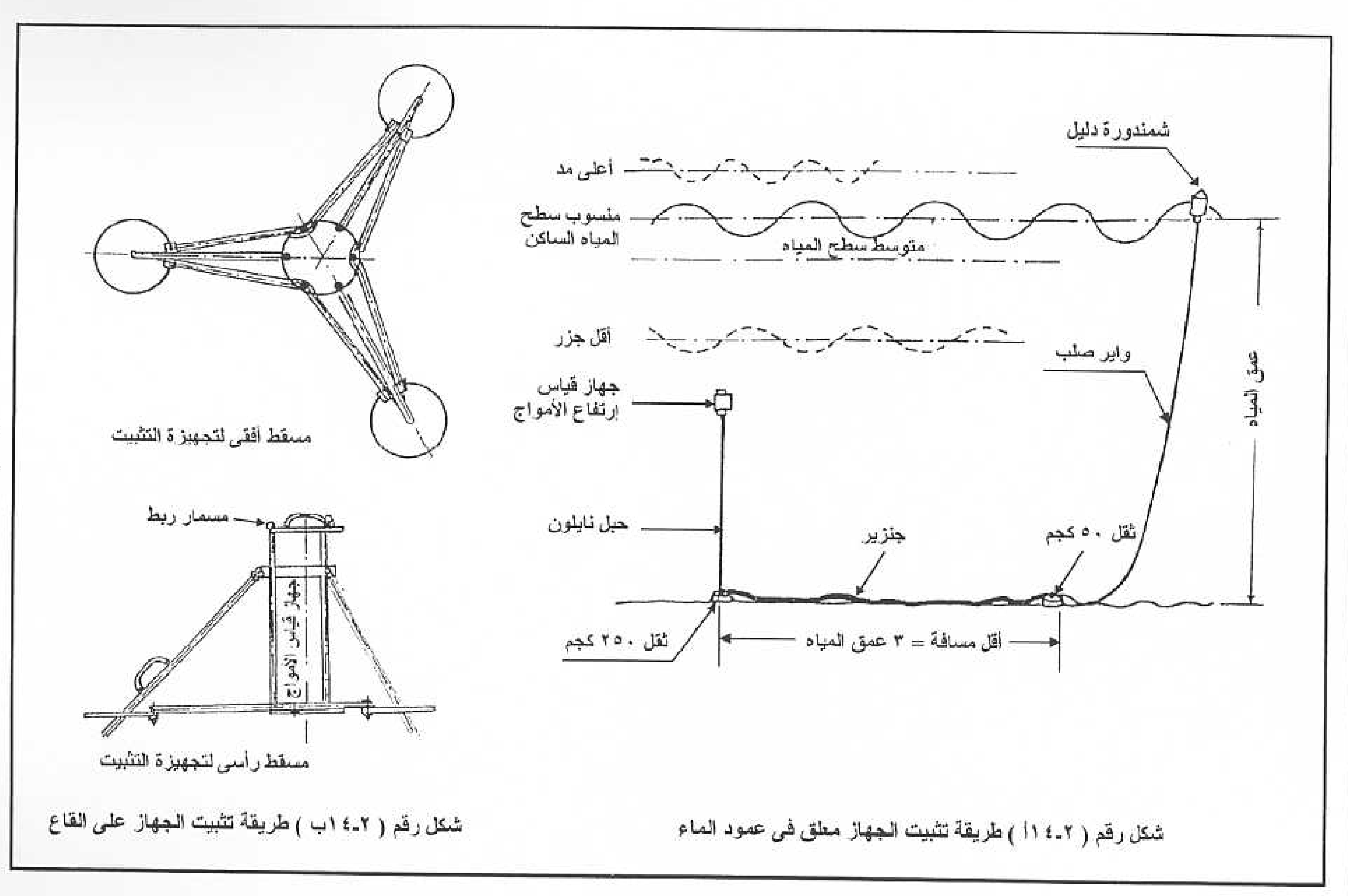
ويعتمد قياس خصائص الموجة على الموجة فوق الصوتية المرتدة والتي تعتمد بدورها على الشكل الموجي ويوضح الشكل (٢-١٧) طريقة هذا النظام.



شكل رقم (٢-١٢) جهاز قياس الأمواج بإستخدام الشمندورة السطحية

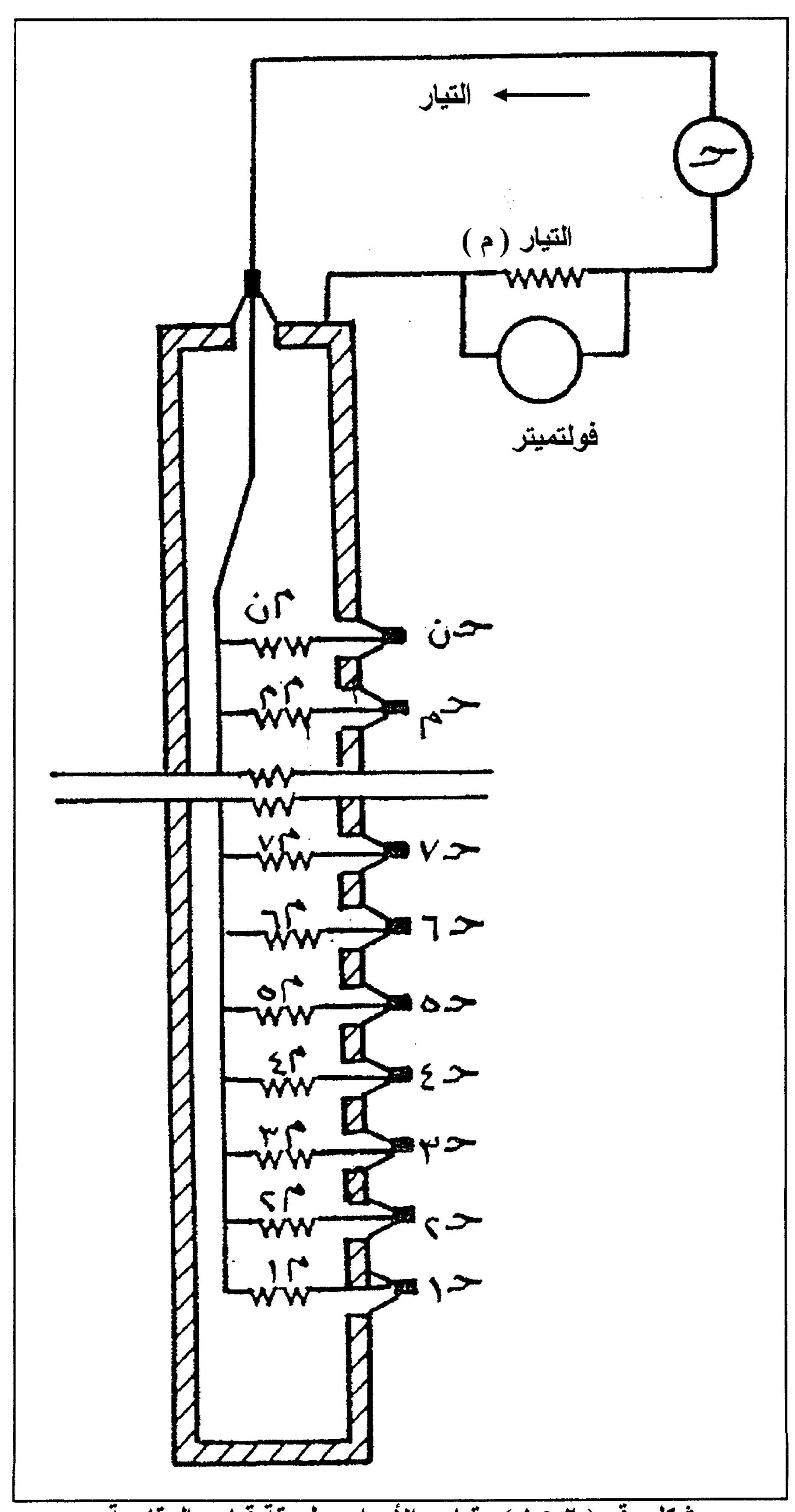


شكل رقم (٢-١٣) جهاز قياس الأمواج بالضغط

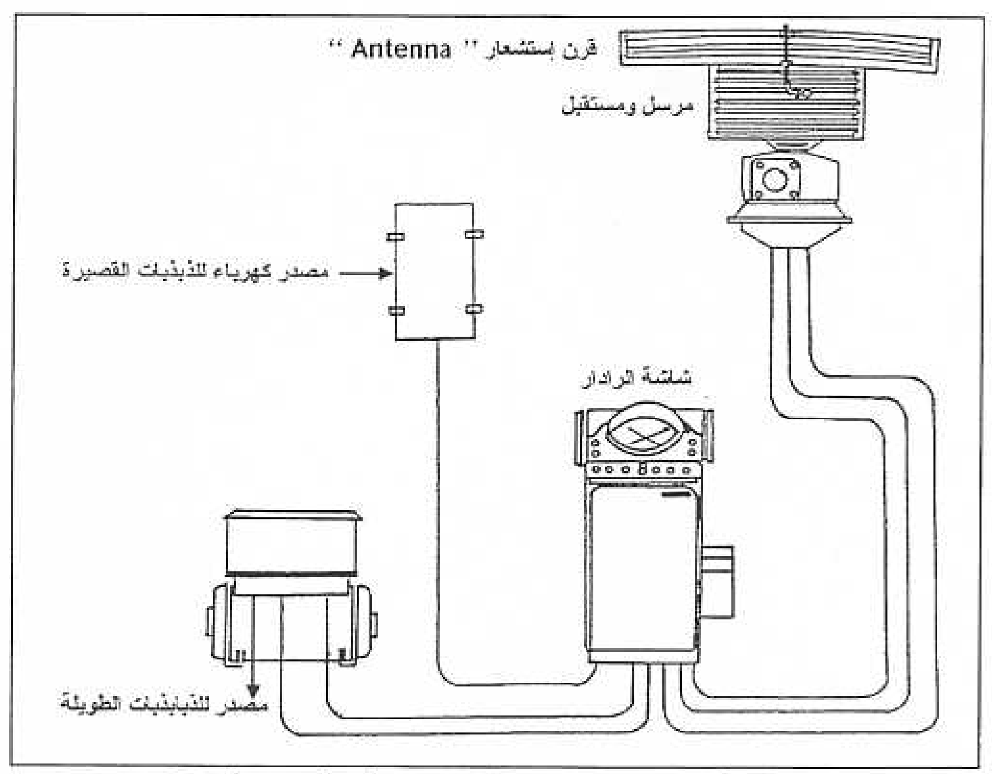


شكل رقم (٢-٤١أ) طريقة تثبيت الجهاز معلق فى عمود الماء

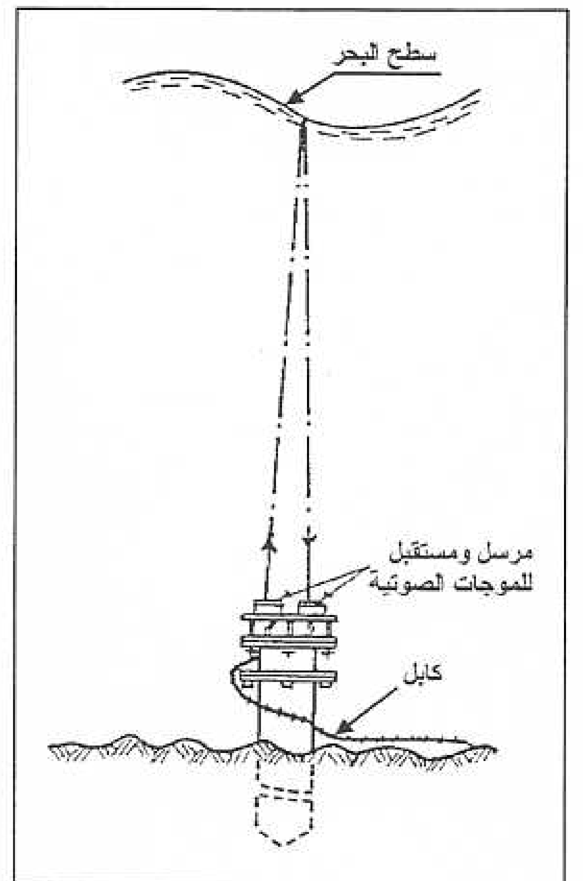
شكل رقم (٢-٤١ب) طريقة تثبيت الجهاز على القاع



شكل رقم (٢-١٥) مقياس الأمواج بطريقة قياس المقاومة



شكل رقم (٢-١٦) إستخدام الرادار فى قياس الأمواج



شكل رقم (٢-١٧) مقياس الأمواج باستخدام الموجات الصوتية

وفي جميع تلك الحالات يراعى فى تسجيلات قياسات الأمواج أن تشتمل على ما يلي:-

- تاريخ بدء التسجيل.
- وقت بدء التسجيل.
- اسم المشروع.
- رقم كودى لسلسلة تسجيلات الأمواج.
- رقم قناة التسجيل.
- رقم الجهاز.
- موقع الجهاز (احداثياته).
- تاريخ انتهاء القياس
- وقت أنتهاء القياس

٢-٢-١٦ تحليل قياسات الأمواج

١- عادة يتم قياس وتسجيل الأمواج بأجهزه قياس الأمواج وذلك بقياس التغير فى منسوب سطح البحر على فترات زمنيه محدده تختلف بإختلاف نوع الجهاز المستخدم، ومن المتعارف عليه أنه بقياس التغير فى منسوب سطح البحر لمدة ٢٠ دقيقه كل اربع ساعات يمكن توصيف حالة البحر فى منطقة القياس.

٢- يتم عادة تحليل القياسات بإستخدام طرق التحليل المعروفة ومن أشهرها طريقة التقاطعات العلويه(zero-up crossings) - للحصول على المعلومات التالية:-

$H_{1/3}$ وهى تمثل ارتفاع الموجه المكافئ وهى تمثل متوسط ارتفاع أعلى N/3 ، حيث N هو عدد الموجات لكل فترة قياس.

$T_{1/3}$ وهى تمثل تردد الموجه المكافئ لمتوسط الزمن الترددى لـN/3من الامواج المستعمل فى حساب H/3.

H_{max} أقصى ارتفاع موجي فى مجموعة الامواج المسجله.

$H_{1/10}$ وهى تمثل متوسط أعلى N/10 موجة، حيث N هو عدد الموجات المقاسة لكل فترة قياس.

T_z وهى تمثل تردد الموجه المكافئ الناتج عن قسمة الزمن الكلى للقياس على عدد تقاطع خط الموجه مع المنسوب المتوسط لسطح المياه.

S_p وهى تمثل قيمة ذروة كثافة طاقة الأمواج خلال فترة التسجيل.

T_p وهى تمثل قيمة تردد الموجة المحتوى على ذروة الطاقة خلال فترة التسجيل.

M_o وهى تمثل الطاقة الكلية للأمواج خلال فترة التسجيل.

N وهى تمثل العدد الكلي للأمواج المستخدمة في التحليل والمسجلة خلال فترة التسجيل.

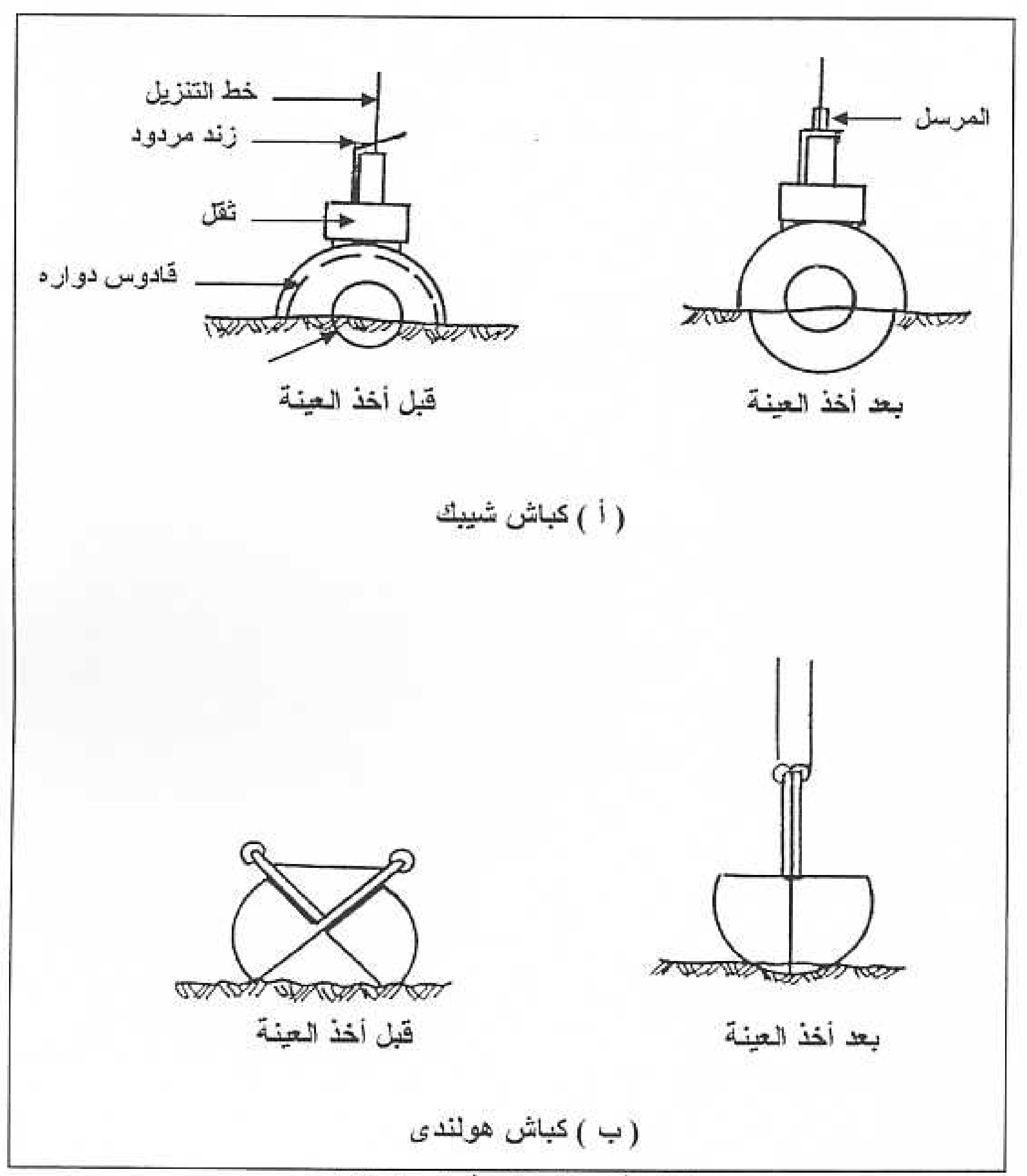
٢-٢-١٧ طرق أخذ عينات تربة القاع الرسوبي

يوجد العديد من أجهزة أخذ عينات القاع تختلف حسب طبيعة التربة وسمك العينة المطلوبة ونوعية العينة "غير مقلقلة أو مقلقلة" والمحتوى المائي للعينة وعمق القاع وهناك ثلاث أنواع رئيسية لأجهزة أخذ عينات القاع هي:-

١- **الكباش:-**

ويستخدم للحصول على عينه مقلقلة لمكونات التربة الطينية أو الرملية أو الزلط المفكك لحد ما.

ويوضح الشكل رقم (٢-١٨) بعض أنواع هذه الكباشات ويمكن منع تسرب المياه من العينة واحتفاظها بمحتواها المائي فى حالة استخدام الكباش الموضح بالشكل رقم (٢-١٨أ).



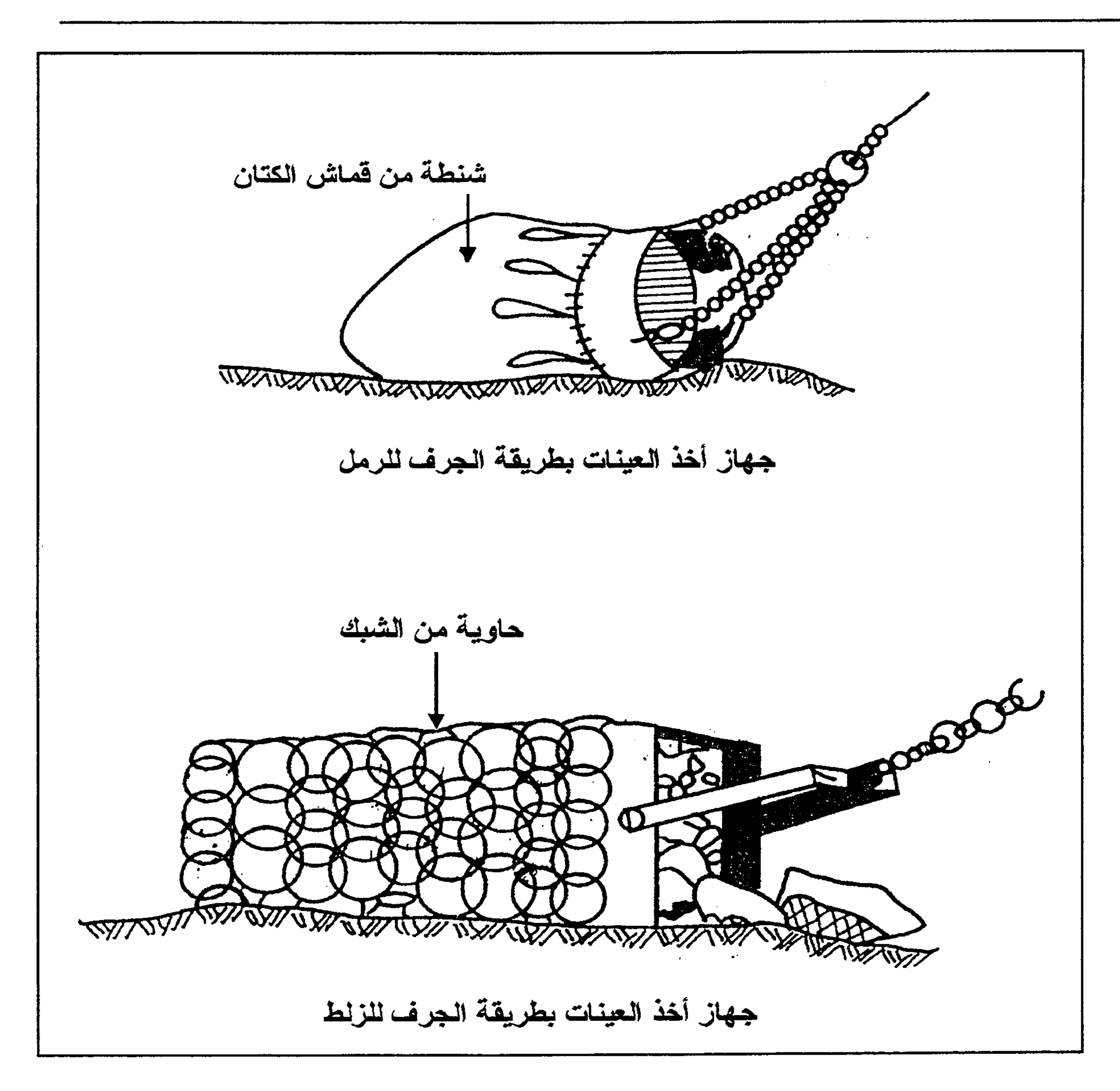
شكل رقم (٢-١٨) أنواع الكباشات

٢- **الجرّافة:-**

وتستخدم لكشط (سحج) المواد المفككة من سطح قاع البحر ويتوقف على خصائص التربة نوعية الجرافة المستخدمة كما هو موضح بالشكل رقم (٢-١٩).

٣- **مثقاب استخراج العينات من قلب التربة:-**

ويستخدم لاستخراج عينات من طبقات التربة لعمق يتراوح بين ٥٠ سم إلى حوالي ١ متر. ويوضح الشكل رقم (٢-٢٠) بعض أنواع المثاقيب.



شكل رقم (٢-١٩) أنواع الجرافات

٢-٢-١٨ طرق قياس حركة المواد الرسوبية

أ- حركة المواد المتحركة على القاع "Bed Load":-

١- تستخدم مواد كاشفة لقياس حركة مواد القاع حيث يتم أخذ كمية من مواد القاع أو من مواد مماثلة لمواد القاع وتغطية حبيبات هذه المواد بمادة فلورسنتية أو مشعة.

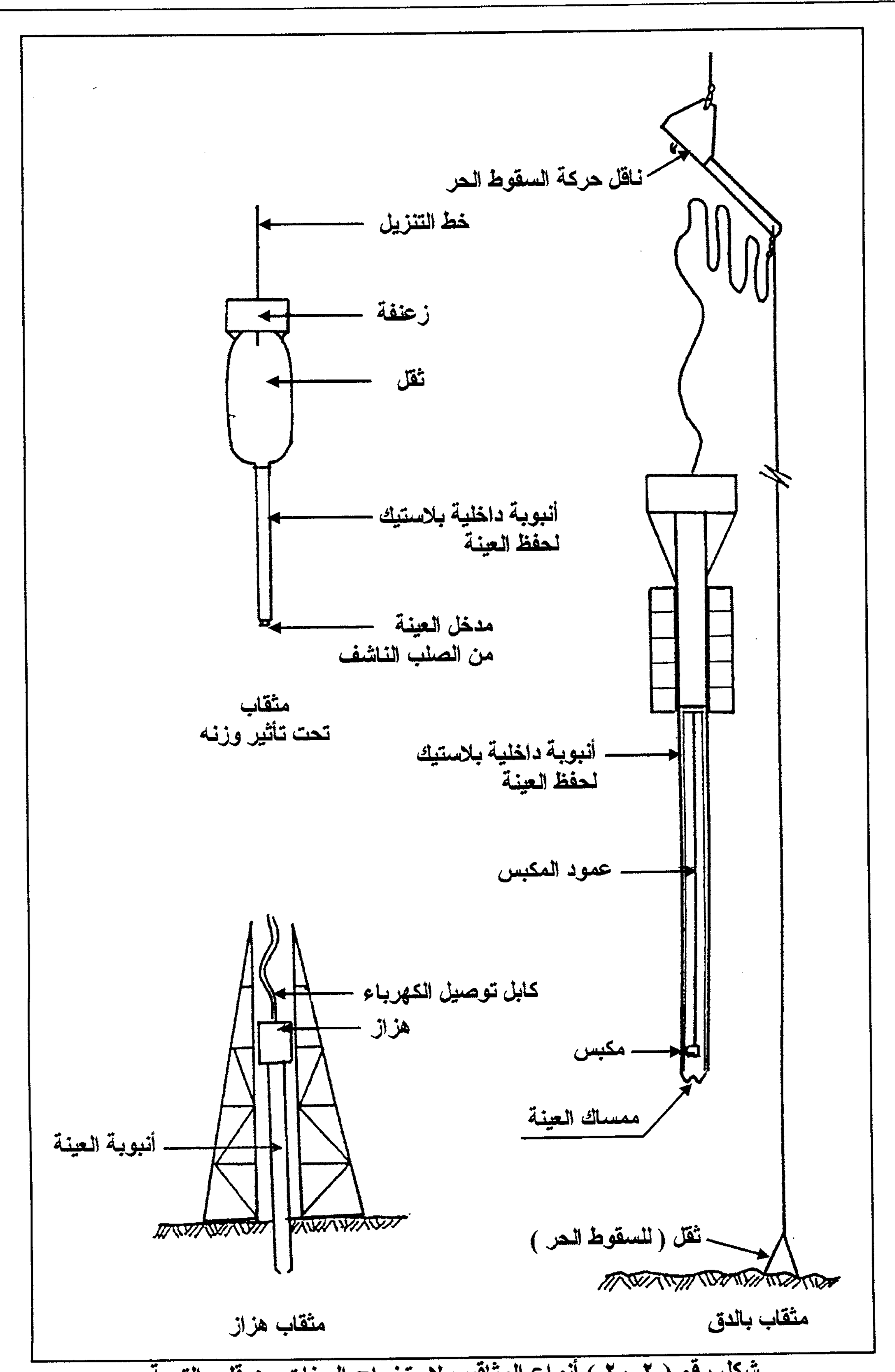
٢- يحقن القاع عند الموقع المطلوب بهذه المواد.

٣- تؤخذ عينات يوميا من سطح التربة فى المنطقة المحيطة بموقع الحقن ويتم تحليلها لتحديد تركيز المواد الكاشفة على مسافات مختلفة من مواقع الحقن لتحديد مسارات المواد الكاشفة.

٤- تستخدم عادة عددا من التحليلات الرياضية لتحديد معدل حركة مواد القاع من معطيات قياسات مسارات المواد الكاشفة.

ب- حركة المواد المعلقة أو الحمل المعلق فى عمود المياه (Suspension Load):-

١- يقاس تركيز المواد العالقة باستخدام خلية كهربائية ضوئية تتأثر بتركيز المواد العالقة فى عمود المياه.



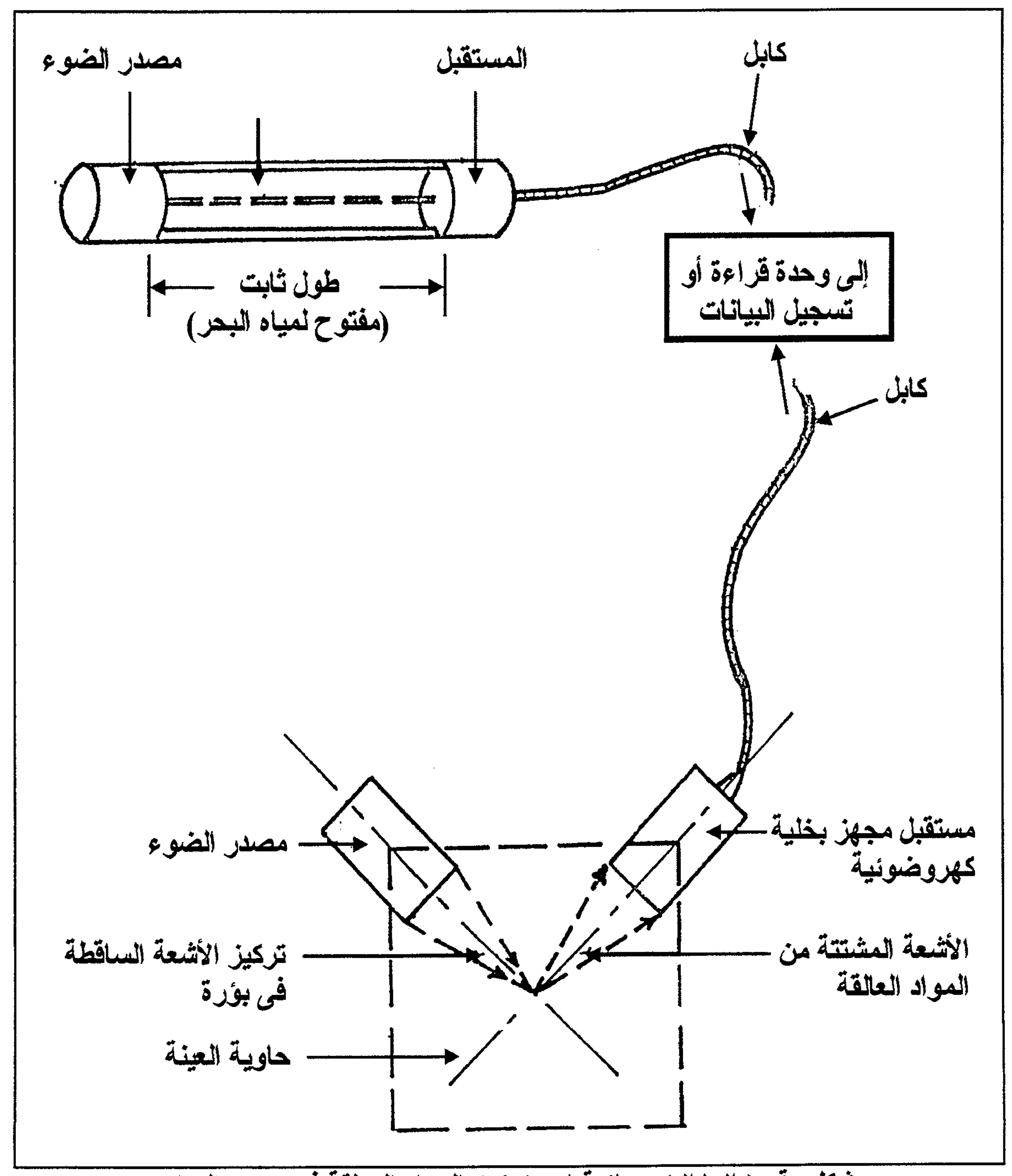
شكل رقم (٢-٢٠) أنواع المثاقيب لإستخراج العينات من قلب التربة

ويوضح الشكل رقم (٢-٢١) طريقة عمل هذا الجهاز.

٢- لأخذ عينه من المياه ذات حمل معلق فانه يجب أن يراعى فى جهاز أخذ العينة ما يلي:-

أ- أن يحتوى على وسيلة لإغلاق حاوية أخذ العينة التي بالجهاز عند العمق المطلوب بعد أخذ العينة مباشرة.

ب- عدم حدوث دوامات عند فتحتي الجهاز أثناء أخذ العينة حتى تكون العينة ممثله لطبيعة تركيز المواد العالقة فى العينة.



شكل رقم (٢-٢١) جهاز قياس تركيز المواد المعلقة فى عمود المياه

٢-٢-١٩ تثقيبات التربة
عند الشروع في تصميم أي مشروع فانه يلزم معرفة طبيعة تربة الموقع ونتائج اختبار طبقاتها بإجراء التثقيبات للحصول على عينات من التربة لتقدير قوى احتمالها ومدى صلاحيتها للمنشآت المطلوب إقامتها عليها. وأعمال التثقيب إما أن تكون فى البحر أو في البر أو فى كليهما.

أ- التثقيبات البرية:-
يستخدم حامل حديدي ذو ثلاثة أو أربعة أرجل بارتفاع كاف مناسب لطول مواسير التثقيب. وتجرى عمليات التثقيب وأخذ العينات وإجراء التجارب وفقا لما هو مبين بالبند الخاص بالدراسات والتجارب بالموقع في الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات.

ب- التثقيبات البحرية:-
وتستخدم أدوات التثقيب المستخدمة فى التثقيبات البرية بعد تثبيتها على برطوم خاص كما هو موضح بالكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات البند الخاص باستخراج عينات التربة بالشواطئ البحرية.

٢-٢-٢٠ اختبارات التربة الحقلية
أنظر البند الخاص باختبارات الموقع في الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات.

٢-٢-٢١ اختبارات التربة المعملية
انظر الجزء الثاني من الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات.

٢-٣ استخدام النمذجة فى أعمال دراسات الشواطئ
يعنى بالنمذجة هو محاكاة أي بيئة طبيعية بالمعمل سواء باستخدام مواد أو طاقات مماثلة أو مغايرة لذات البيئة الأصلية أو محاكاتها حسابيا باستخدام العلاقات الرياضية ويشترط فى جميع الأحوال تماثل عناصر وجزئيات الكيان الطبيعي الأصلي بمكونات النموذج المناظرة من حيث تأثرها وتأثيرها على بعضها البعض فى كل منهما.

والغرض من النمذجة هو إعطاء تصور عن التوقعات المحتملة لسلوك الكيان الطبيعي تحت تأثير المتغيرات المختلفة مما يساعد على اتخاذ القرار المناسب للوصول إلى التخطيط أو التصميم الأمثل.

ويقصد بـ "النمذجة الطبيعية المصغرة" هو محاكاة الكيان الطبيعي الأصلي محاكاة طبيعية تماثل البيئة الأصلية بمقياس تصغير مناسب لتمثيل العوامل المختلفة المؤثرة على تخطيط وتصميم المشروع فى الطبيعة. وعندما يكون مقياس التصغير متماثل فى جميع الاتجاهات يسمى نموذج طبيعي مصغر غير مشوه بينما فى حالة تغير مقياس تصغير البعد الرأسي عن مقياس تصغير البعد الأفقي يسمى نموذج مشوه.

وتستخدم النماذج الطبيعية المصغرة لدراسة ثبات المنشآت البحرية تحت تأثير القوى المؤثرة عليها. وكذا لدراسة التغيرات فى الظواهر الهيدروليكية القريبة من موقع المنشآت البحرية وأيضا لدراسة التخطيط الأمثل للمنشآت البحرية طبقا لنوعيتها وشكلها وطبيعة منطقة الدراسة.

ويقصد بـ "النمذجة الرياضية" هو محاكاة عينية لأي كيان أو تصور (يمكن تفسير"توصيف" ظواهره الطبيعية رياضيا بدقه مقبولة) بصوره عددية حيث يتم استنتاج سلوك الكيان المراد دراسته فى المكان والزمان بمجموعة من العمليات الرياضية. وتستخدم النماذج الرياضية عادة للتنبؤ بالظواهر الخاصة بطبيعة حدود منطقة المنشآت البحرية.

٢-٣-١ النمذجة الطبيعية المصغرة

نظرا لتعقد العلاقات المتبادلة بين الظواهر الطبيعية المؤثرة فى المنطقة الشاطئية وجيوجرافية المنطقة وطبيعة المنشآت الشاطئية فأنه يفضل فى دراسة المشاكل المتعلقة بالمنطقة القريبة من الشاطئ أن يتم دراستها باستخدام النماذج الهيدروليكية المصغرة.

ويشترط فى النموذج الهيدروليكي المصغر أن يحاكى الطبيعة من ناحية التماثل الديناميكي بالنسبة للسرعة والعجلة للقوى الرئيسية المؤثرة.

ويستخدم رقم فرويد " F_N " لتحقيق التماثل بالنسبة للنماذج الهيدروليكية المتعلقة بالمنشآت البحرية نظرا لأن أغلب القوى المؤثرة تعتمد على قوى الجاذبية (الضغط-القصور الذاتي- الجاذبية) وهو معطى بالمعادلة التالية:-

$$F_N = \frac{V}{\sqrt{Lg}} \qquad (2-1)$$

حيث :

V = Speed
L = Distance
g = Acceleration

و يطبق مقياس التصغير التالي طبقا لرقم فرويد:-

مقياس الطول	١	:	س
مقياس الزمن	١	:	(س)$^{١/٢}$
مقياس السرعة	١	:	(س)$^{١/٢}$
مقياس العجلة	١	:	١
مقياس الحجم	١	:	س^{٣}
التصرف	١	:	(س)$^{٥/٢}$
الضغط	١	:	س
الطاقة	١	:	س^{٤}

حيث س : النسبة بين مقدار الوحدة فى الطبيعة إلى مقدار الوحدة فى النموذج.

ويجب مراعاة النقاط التالية عند إجراء النمذجة الطبيعية المصغرة:-

** أن يكون مقياس التصغير كبير نسبيا بحيث يقلل من تأثير قوى الشد السطحي.

** تقليل تأثير جوانب حوض التجارب الذي يتم فيه إنشاء النموذج المصغر على الظواهر الهيدروليكية التي يتم دراستها وذلك باستخدام نظام امتصاص الأمواج المنعكسة من الجوانب ومن خلف ماكينة توليد الأمواج. ومن المعلوم أنه يستخدم حاليا نظام تحكم مؤازر (Servo) لتوليد حركة تعادل الموجة المنعكسة وبالتالي يتم فصلها عن الموجة الساقطة. وهو نظام متقدم يستخدم فى أحواض التجارب المجهزة بماكينات توليد الأمواج الغير منتظمة مع توافر نظام قياسات متكامل متصل بحاسب آلي لتحليل النتائج وحساب الأمواج المنعكسة لتوليد الحركة المضادة المقابلة لهذه الأمواج. وفى أحواض التجارب العادية يتم استخدام مواد لها خاصية امتصاص الموجة المنعكسة وتوضع على جوانب الحوض وخلف ماكينة الأمواج.

** استخدام أجهزة قياس معملية ذات دقه عالية.

** من المفضل كثيرا استخدام نظام قياسات متكامل بالحاسب الآلي لدراسة المتغيرات فى الظواهر الهيدروليكية طبقا للمكان والزمان وذلك فى حالة استخدام ماكينة توليد أمواج غير منتظمة بهدف إيضاح تأثير التداخل العشوائي للأمواج على تخطيط أو تصميم المنشآت البحرية.

ومن المعلوم أن النماذج الطبيعية ذات البعدين تستخدم عادة في دراسة ثبات المنشآت البحرية وفي دراسة حركة مواد القاع تحت تأثير الأمواج والتيارات ودراسة الفيض الموجي (الركوب الموجي). ويتم إنشاء النموذج ذات البعدين فى مجرى الأمواج والتيارات " Wave Flume ".
أما النماذج الطبيعية ذات الثلاثة أبعاد فتستخدم عادة فى دراسة تخطيط المنشآت البحرية وفي دراسة ثبات رؤوس حواجز الأمواج وفي دراسة تقدم الأمواج وتغير طبوغرافية القاع. ويتم إنشاء النموذج ذات الأبعاد الثلاثة فى حوض الأمواج " Wave Basin ".

٢-٣-١-١ النماذج الطبيعية المصغرة المتعلقة بحماية الشواطئ

فيما يلي شرح مختصر لأسلوب تصميم وتشغيل هذا النوع من النماذج:-

٢-٣-١-١-١ أسس تخطيط منشآت حماية الشواطئ

لإمكان التخطيط السليم لمنشآت حماية الشواطئ فانه يلزم توفير البيانات الخاصة عن الموضوعات التالية أولا:-

- العوامل المؤثرة على الاتزان البيئي للمنطقة الشاطئية وخط الشاطئ.
- التغيرات الموسمية وتأثيرها على النحر والترسيب فى المنطقة الشاطئية.
- الاتجاه السائد لحركة المواد الرسوبية.
- الهدف من حماية الشواطئ.
- موقع الحماية وطبيعة ونوعية المنشأ.
- التأثير البيئي للمنشأ على اتزان المناطق المجاورة.
- المواد المستخدمة فى الإنشاءات تبعا لمدى توافرها بالقرب من المنطقة.

٢-٣-١-١-٢ الاعتبارات الخاصة باختيار مقياس التصغير

يعتمد مقياس التصغير المناسب على عدة عوامل من أهمها:-

- طبيعة النموذج المصغر (ذو قاع ثابت أو متحرك).

- طبيعة ميول القاع فى المنطقة الشاطئية.
- شكل خط الشاطئ و طبوغرافية المنطقة.
- خصائص الأمواج وطبيعتها من حيث كونها أمواج منتظمة أو غير منتظمة.
- مساحة حوض التجارب.
- نطاق حدود منطقة الدراسة.
- طبيعة المواد الرسوبية في حالة استخدام النماذج المصغرة ذات القاع المتحرك.
- معامل التشوه في حالة استخدام النماذج المصغرة ذات القاع المتحرك.

٢-٣-١-١-٣ تصميم النموذج الطبيعي المصغر

البيانات والقياسات الحقلية المطلوبة لتصميم النموذج:-

- البيانات الإحصائية لخصائص الأمواج والتيارات الشاطئية.
- البيانات الإحصائية لكمية مواد القاع الرسوبية المتحركة في المنطقة الشاطئية على مدار العام وخلال فترات النوات.
- البيانات الإحصائية لاتجاه حركة مواد القاع الرسوبية في المنطقة الشاطئية سواء الموازية للشاطئ أو العمودية على الشاطئ.
- البيانات الخاصة عن الاتجاه السائد للأمواج.
- البيانات الخاصة عن طبيعة مواد القاع الرسوبية في المنطقة الشاطئية.
- نتائج أعمال الجسات التي توضح التغير في أعماق المنطقة الشاطئية على مدار العام وتتابعها خلال فتره طويلة من السنين.
- التغيرات الخاصة بخط الشاطئ.
- المنشآت البحرية القائمة في المناطق المجاورة.

٢-٣-١-١-٤ اختيار مقياس التصغير

عند إنشاء نموذج طبيعي مصغر ذو ثلاث أبعاد فانه يتم تحديد مكوناته طبقا لأهداف الدراسة، ففي حالة دراسة العوامل المؤثرة على حركة مواد القاع يتم إنشاء نموذج غير مشوه ذو قاع ثابت من مونة أسمنتية، بينما فى حالة دراسة كيفية تحرك مواد القاع تحت تأثير الظواهر الهيدروليكية فغالبا ما يتم إنشاء نموذج مشوه ذو قاع متحرك.

١- النموذج المصغر الخاص بدراسة الظواهر الهيدروليكية:-

أ- فى حالة دراسة الأمواج القصيرة تطبق الأسس التالية:-

- تتم التجارب باستخدام نموذج طبيعي مصغر غير مشوه.
- يكون مقياس التصغير كبيرا نسبيا بحيث يمكن إهمال تأثير احتكاك القاع على تقليل ارتفاع الموجه فى النموذج.
- يكون الطول الممثل من المنطقة المجاورة كافيا لتمثيل تكوين التيارات الشاطئية بالمنطقة وأن لا تتأثر بجوانب حوض التجارب.
- تكون الأعماق الممثلة كافيا لتمثيل سرعة تقدم الموجة.
- يكون ارتفاع الأمواج فى النموذج فى الحدود التي تسمح بقياسه بدقه وأيضا لإمكان إهمال قوى التوتر (الشد) السطحي.
- عادة ما يتراوح مقياس التصغير بين ١:٧٥ إلى ١:١٥٠ .

ب- فى حالة دراسة الأمواج المتوسطة والطويلة بالمياه الضحلة تطبق الأسس التالية:-

- يتم تمثيل هذه الأمواج غالبا باستخدام نموذج طبيعي مصغر مشوه لدراسة ظاهرة انكسار وحيود الأمواج حيث أن هاتان الظاهرتان تعتمدان على عمق المياه. وفى هذه الحالة تكون النسبة بين عمق المياه إلى طول الموجة (٠٫٠٥ > d/L > صفر) ومن ثم يمكن حساب سرعة الموجة من العلاقة التالية:-

$$C=(gd)^{1/2} \qquad (2-2)$$

حيث :

C	:	سرعة الموجة فى المياه الضحلة
g	:	عجلة الجاذبية الأرضية
d	:	عمق المياه فى المنطقة الضحلة

- يطبق مقياس التصغير التالي بالنسبة للنموذج المشوه

م س = س ف/س ط

س ع = (س ط)$^{1/2}$

حيث :

م س	=	معامل التشوه
س ط	=	مقياس التصغير الطولي الرأسي
س ف	=	مقياس التصغير الطولي الأفقي
س ع	=	مقياس تصغير السرعة

٢- النموذج المصغر الخاص بدراسة كيفية حركة مواد القاع:-

يتم اختيار مقياس تصغير مشوه نظرا لأنه عند اختيار مقياس تصغير مناسب للعوامل الهيدروليكية فإنه عادة ما يصعب استخدام ذلك المقياس لتمثيل مواد القاع الرسوبية وخصائصها ومن ثم يكون اختيار مقياس التصغير على ضوء ما يلي:-

- نطاق منطقة الدراسة.
- مساحة حوض التجارب.
- مقياس التصغير الرأسي المناسب الذي يعتمد على:-

* خصائص الأمواج - القطر المتوسط لحبيبات القاع الرسوبيه - الكثافة النوعية لمواد القاع الرسوبية.
* نتائج معايرة النموذج بإجراء تجارب باستخدام عدة مقاييس رأسية مختلفة للوصول إلى سلوك فى النموذج مشابه للسلوك فى الطبيعة. وتتم المعايرة بالبيانات الحقلية المتوفرة عن تغيرات طبوغرافية المنطقة الشاطئية وخط الشاطئ خلال فترة زمنية معينه وبناء على ذلك يتحدد مقياس التصغير الرأسي. كذلك يمكن تغيير المواد المستخدمة فى إنشاء القاع لتجربة مواد مختلفة ذات خصائص متباينة أثناء إجراء تجارب المعايرة. علما أن نتائج النموذج المصغر المشوه ذات علاقة كيفية وليست كمية نتيجة لعدم تطابق التمثيل وكذلك لأن العوامل الهيدروليكية المؤثرة تخضع لعلاقات غير خطية مما يؤثر على نتيجة التنبؤات حتى بعد معايرة النموذج.
* يمكن استخدام بعض العلاقات الوضعية التي استنتجت بناء على إجراء العديد من التجارب للاسترشاد بتحديد معامل التشويه.

٢-٣-١-١-٥ إنشاء وتشغيل النموذج

أ- النموذج ذو القاع الثابت:-

- يتم إنشاء قاع النموذج من مونة أسمنتية وبحيث يمثل طبوغرافية القاع بدقة.
- تستخدم في إنشاء نماذج حواجز الأمواج الكومية والرؤوس الحجرية مواد يمكنها تمثيل ظاهرة انعكاس وانتقال الأمواج من هذه الحواجز بصوره تقريبية.
- يجب الحفاظ على منسوب المياه أثناء إجراء التجارب.
- تجرى التجارب لمناسيب مياه مختلفة وخاصة المناسيب التي تعطى أقصى طاقه للأمواج وأقصى انعكاس موجي. أو تستخدم هدارات أوتوماتيكية لتمثيل تغير المنسوب طبقا للمد والجزر.
- ضرورة تمثيل فترات العواصف (النوات).
- ضرورة تصوير سلسله التجارب بحيث تعطى صوره واضحة للمقارنة بين التجارب واتجاهات الأمواج والتيار.
- وضع نظام متكامل لقياسات الأمواج والتيار فى النموذج لدراسة التداخلات الناشئة عن الطيف الموجي.

ب- النموذج ذو القاع المتحرك:-

- يتم استخدام مواد مماثلة لمواد القاع الرسوبية فى الطبيعة من حيث التدرج الحبيبي والكثافة النوعية أو بلاستيك مجروش ويتم تحديد القطر المتوسط والكثافة النوعية له.
- يعاد تشكيل طبوغرافية القاع قبل إجراء أي سلسله جديده من التجارب نظرا لتغير تشكيل القاع أثناء إجراء التجارب السابقة وبالتالي تغير خصائص الأمواج.
- يعاد تمثيل مواد القاع من ناحية التدرج الحبيبي عند إجراء تجارب جديده نظرا لتغير توزيع التدرج الحبيبي فى المنطقة الشاطئية بالنموذج تحت تأثير الأمواج.
- يجرى مسح دقيق لطبوغرافية القاع والتغير فيها.
- تجرى تجارب المعايرة اللازمة لتحقيق تمثيل النموذج للطبيعة واختيار مقياس التصغير الرأسي.
- ضرورة العمل على تقليل تأثير جوانب حوض التجارب وخط الشاطئ نظرا لزيادة ظاهرة انعكاس الموجة فى النماذج الطبيعية المصغرة المشوهة.
- فى بعض الأحيان يتم إنشاء نموذج ذو قاع ثابت ثم تستخدم مواد فلورسنتية يتم وضعها على القاع لدراسة اتجاه حركة مواد القاع تحت تأثير الظواهر الهيدروليكية.

٢-٣-١-٢ النماذج الطبيعية المصغرة الخاصة بدراسة ثبات المنشآت البحرية

سنتعرض في هذا الجزء لنوعين من المنشآت البحرية الأكثر استخداما في أعمال وقاية الشواطئ وهما المنشآت الكومية والحوائط البحرية الرأسية:-

٢-٣-١-٢-١ أسس دراسة ثبات المنشآت البحرية

لإقامة منشأ بحري سليم يتطلب الأمر توخي توافر وتحديد العناصر التالية له بما يتوافق ومتطلبات استخداماته:-

- تحديد نوعية المنشأ البحري.
- تحديد الشكل الهندسي للمنشأ البحري.
- تحديد أعماق المياه أمام المنشأ البحري.
- تحديد طبيعة وتكوين التربة حول المنشأ.

- تحديد ميول القاع في الجهة البحرية للمنشأ البحري.
- تحديد التغير في منسوب المياه.
- تحديد نوعية وخصائص البلوكات المستخدمة في أعمال الإنشاء.
- تحديد خصائص الموجة التصميمية واتجاهها.
- تحديد معامل الثبات المقبول خلال فتره زمنية محددة.
- تحديد قيمة الفيض الموجي(الركوب الموجي) المقبول.

٢-٣-١-٢-٢ الاعتبارات الخاصة باختيار مقياس التصغير

تتوقف هذه الاعتبارات وفقا لنوعية المنشأ البحري كما يلي:-

أ) المنشآت الكومية:-
يتم تمثيل هذا النوع من المنشآت باستخدام نموذج طبيعي مصغر ذو بعدين ويعتمد مقياس التصغير على تحقيق التماثل للمعادلتين التاليتين:-

$$N_s = (K_D \cot\alpha)^{1/3} \qquad (2\text{-}3)$$

$$W = \frac{\gamma H^3}{K_D\left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cot\alpha} \qquad (2\text{-}4)$$

حيث:-

N_s	:	معامل الثبات.
α	:	زاوية ميل طبقة الحماية للمنشأ من الناحية البحرية .
W	:	وزن بلوك طبقة الحماية الرئيسية.
γ	:	الوزن النوعي لمادة إنشاء الحماية.
γ_w	:	الوزن النوعي للمياه.
K_D	:	ثابت يعتمد على : (Δ, P_t ، H/L, d/L).
H	:	ارتفاع الموجة التصميمي وعند عمق مياه "d".
L	:	طول الموجه عند عمق المياه " d ".
P_t	:	طريقة وضع بلوكات طبقة الحماية.
Δ	:	نسبة عدد البلوكات التي تحركت من موضعها أثناء التجارب إلى المجموع الكلى لبلوكات الحماية لوحدة المساحة السطحية

ويمكن التوصل إلى تماثل هاتين المعادلتين باستخدام نموذج مصغر غير مشوه طبقا لعلاقة فرويد للتصغير وباستخدام مواد يمكن أن تؤدى إلى تماثل ظاهرة انعكاس وانتقال الموجه من الحاجز بصوره تقريبية.

ب) الحوائط البحرية الرأسية:-

بالنسبة للحوائط الرأسية المقامة في أعماق المياه الكبيرة حيث لا تتكسر الأمواج على الحوائط الرأسية فعادة لا تستخدم النماذج الطبيعية فى دراسة ثباتها وذلك لسهولة حساب ثبات هذه الحوائط بالدقة المطلوبة باستخدام المعادلات الرياضية الخاصة بالتصميم.

أما بالنسبة للحوائط الرأسية المقامة فى الأعماق الضحلة حيث تتكسر الأمواج عليها فأنه يتم تقسيم دراستها طبقا لطبيعة ارتطام الموجة مع المنشأ وذلك نظرا لصعوبة تمثيل الظواهر الهيدروديناميكية الناشئة عن تكسر الأمواج في النموذج على نحو شمولي ، وذلك على النحو التالي:-

** **الارتطام التنفيسي (Ventilated Shock):-**

وهو الارتطام الذي يسمح بهروب الهواء الناشئ عن عملية الارتطام وفى هذه الحالة يمكن تمثيل القوى الناشئة عن هذا الارتطام بدقة مقبولة باستخدام النموذج الطبيعي المصغر مع تحقيق علاقة فرويد فى عملية التصغير.

** **الارتطام الانضغاطي (Compression Shock):-**

وهو الارتطام الذي ينشأ عنه حبس الهواء وتكوين جيب من الهواء المحبوس وفى هذه الحالة يمكن استخدام النموذج الطبيعي المصغر طبقا لعلاقة فرويد فقط لقياس قوة الدفع (Impulse) ومنه يمكن حساب الارتطام الانضغاطي باستخدام منحنيات لوندجرين.

** **الارتطام المطرقي (Hammer Shock):-**

وهو الارتطام الذي ينشأ عنه حبس هواء متساوي على المنشأ ويصعب تمثيل مثل هذا الارتطام باستخدام النماذج الطبيعية المصغرة وأن كانت أحيانا تستخدم للحصول على نتائج بهدف المقارنة بين أشكال مختلفة من الحوائط الرأسية.

٢-٣-١-٢-٣ تصميم النموذج

لتصميم النموذج يلزم توافر البيانات والقياسات الحقلية التالية:-

- بيانات تفصيلية عن نوع المنشأ.
- بيانات تفصيلية عن الشكل الهندسي المقترح للمنشأ.
- نوعية المواد المستخدمة في الإنشاء.
- طبيعة مواد القاع.
- جسات الأعماق على طول اتجاه المنشأ البحري.
- خصائص الموجة التصميمية واتجاهها.

٢-٣-١-٢-٤ اختيار مقياس التصغير

يتم إنشاء نموذج طبيعي مصغر غير مشوه ذو بعدين فى مجرى الأمواج لدراسة كل من ثبات بلوكات طبقة الحماية لجسم المنشآت الكومية والقوى المؤثرة على الحوائط الرأسية والفيض الموجي (الركوب الموجي). وعادة يتراوح مقياس التصغير بين ١:٢٠ إلى ١:٥٠ بينما في حالة دراسة ثبات رؤوس الحواجز يتم استخدام نموذج طبيعي مصغر غير مشوه ذو ثلاث أبعاد لدراسة تأثير انتشار الأمواج والشكل الهندسي لرأس الحاجز وتأثير اتجاه الأمواج على ثبات رأس الحاجز ويستخدم فى هذه الحالات مقياس تصغير يتراوح بين ١:٢٠ إلى ١:٦٠ .

٢-٣-١-٢-٥ إنشاء وتشغيل النماذج

- تستخدم فى إنشاء نماذج حواجز الأمواج الكومية مواد يمكن معها تمثيل ظـاهرة انعكاس وانتقال الأمواج الناشئة عن هذه الحواجز بصوره تقريبية.
- ضرورة تمثيل الشكل الهندسي للمنشأ بدقة.
- إجراء التجارب لمناسيب مياه مختلفة.
- ضرورة وضع مرشحات لامتصاص الموجة المنعكسة.
- قياس الركوب الموجي.
- قياس حركة بلوكات طبقة الحماية.
- قياس حركة بلوكات حماية قدمة الحاجز.
- قياس حركة مواد نواة الحاجز.
- إجراء تصوير فيديو لتوضيح حركة بلوكات الحماية.

٢-٣-٢ النمذجة الرياضية

٢-٣-٢-١ أسس النمذجة الرياضية

تتنوع النماذج الرياضية المستخدمة في هذا المجال تنوعا كبيرا وفقا لخصائصها وللبيئة المطلوب دراستها ولنوعية النتائج المطلوب استخلاصها، ومن ثم كان التعرف على الأسس والمقومات التي تقوم عليها النمذجة الرياضية وتحديدها هو المدخل الطبيعي للتعرض لهذه الوسيلة الهامة في دراسات الشواطئ، وهذه من أهمها ما يلي:-

- تحديد نوع النموذج الرياضي والذي ينقسم إلى الأنواع التالية:-

  . نموذج رياضي ذو بعد واحد.
  . نموذج رياضي ذو البعدين.
  . نموذج رياضي ذو الثلاثة أبعاد.

- تعيين خصائص النموذج الرياضي واستخداماته.
- إيضاح الخلفية النظرية للنموذج الرياضي.
- إيضاح الأفكار الأساسية المتعلقة بديناميكية العوامل التي تعتمد عليها نظرية النموذج.
- تحديد الافتراضات التي اتخذت فى تصميم النموذج الرياضي وتأثيرها على نتائج مخرجات النموذج.
- تحديد القياسات الحقلية اللازمة كمدخلات للنموذج.
- تحديد أسلوب التحليل العددي المستخدم فى حل المعادلات الرياضية.
- تعيين ثبات ودقة التحليل العددي.
- تحديد الحالة الأولية والحدية للنموذج الرياضي وكذا المسطح الحر.
- إيضاح أدوات تحقيق التماثل للنموذج الرياضي.
- إيضاح أسلوب معايرة وتقييم النتائج.
- إيضاح النماذج الرياضية الفرعية المساعدة للنموذج الأساسي.

٢-٣-٢-٢ أسس اختيار النموذج الرياضي

يعتمد اختيار النموذج الرياضي على:-

- طبيعة طبوغرافية المنطقة.
- طبيعة طبوغرافية القاع.
- خصائص الأمواج.
- ديناميكية المنطقة الشاطئية.
- البيانات المتوافرة كمدخلات للنموذج.
- القياسات اللازمة لمعايرة النموذج.
- دقة واستخدامات النتائج المطلوبة.

٢-٣-٢-٣ أنواع النماذج الرياضية

يمكن تصنيف أنواع النماذج الرياضية الأكثر استخداما من ناحية نوعية الظاهرة الطبيعية الخاصة بموضوع الدراسة كما يلي:-

- نماذج رياضية لحساب التغيرات في المنطقة الشاطئية وتشكل خط الشاطئ.
- نماذج رياضية لحساب حالة الأمواج في المنطقة الشاطئية.
- نماذج رياضية لحساب توزيع التيارات فى المنطقة الشاطئية.
- نماذج رياضية ذات أبعاد ثلاثة لحساب تأثير وجود منشآت صناعية على اتزان المنطقة الشاطئية.
- نماذج رياضية لدراسة التغيرات فى منسوب سطح البحر نتيجة لظاهرة المد والجزر.

٢-٣-٢-٣-١ النماذج الرياضية لحساب التغيرات بالمنطقة الشاطئية وتشكل خط الشاطئ

من اجل إعداد نموذج رياضي يمثل تشكيل خط الشاطئ فإنه يجب تفهم الظواهر الطبيعية المؤثرة على هذه العملية حتى يمكن تمثيلها رياضيا. والنماذج الرياضية الخاصة بتشكيل خط الشاطئ يمكن تقسيمها الى قسمين أساسين من حيث الهدف من النموذج وطريقة الحساب كما يلي:-

- نماذج خط الشاطئ الخطية One- Line Models (Shoreline)
- نماذج ثلاثية الأبعاد.

فى النماذج الخطية One-Line Models تحدد التغيرات فى المنطقة الشاطئية من حساب التغذية فى خط الشاطئ أي بحساب معدل التغير فى المواد الرسوبية الموازية للشاطئ نتيجة تأثير الأمواج بالاتجاهات والارتفاعات المختلفة - ومن أشهر النماذج المستخدمة من هذا النوع هي الـ Multi-line Models و One-line .

أما فى النماذج الثلاثية الأبعاد فالغرض منها حساب توقع تشكل قاع البحر للمنطقة الشاطئية عن طريق حساب توزيع التيارات والأمواج في المنطقة والتي يتم تقسيمها إلى قطاعات مختلفة ثم حساب كميات المواد الرسوبية المتنقلة من قطاع إلى قطاع ويوضح الجدول رقم (٢-٢) حدود الاستخدام لنوعي النماذج الرياضية لحساب التغير وتشكل خط الشاطئ، بينما يمثل شكل (٢-٢٢) الهيكل العام لطريقة عمل نموذج رياضي ثلاثي الأبعاد لحساب تشكل خط الشاطئ والأعماق في المنطقة الشاطئية.

جدول رقم (٢-٢) حدود استخدام النماذج الرياضية لحساب التغير وتشكل الشاطئ

	مقياس الزمن				
	نوة واحدة	أشهر	من ١ إلى ٥ سنة	من ٥ إلى ١٠ سنة	من ١٠ إلى ٢٠ سنه
١٠٠ متر	نموذج ثلاثي الأبعاد				
كيلومترات محدده	3-D		نموذج خط الشاطئ —— One Line Model		
من ١٠ كم أو أكثر			------ 2-Line Model		ماكرو

٢-٣-٢-٣-٢ النماذج الرياضية لحساب حالة الأمواج في المنطقة الشاطئية

من أهم العوامل المؤثرة على دقة النماذج الرياضية الخاصة بالمنطقة الشاطئية هي دقة حساب تأثير الأمواج باعتبارها من أهم الظواهر الطبيعية التي تتحكم فى التغيرات التي تحدث في منطقة الشاطئ.

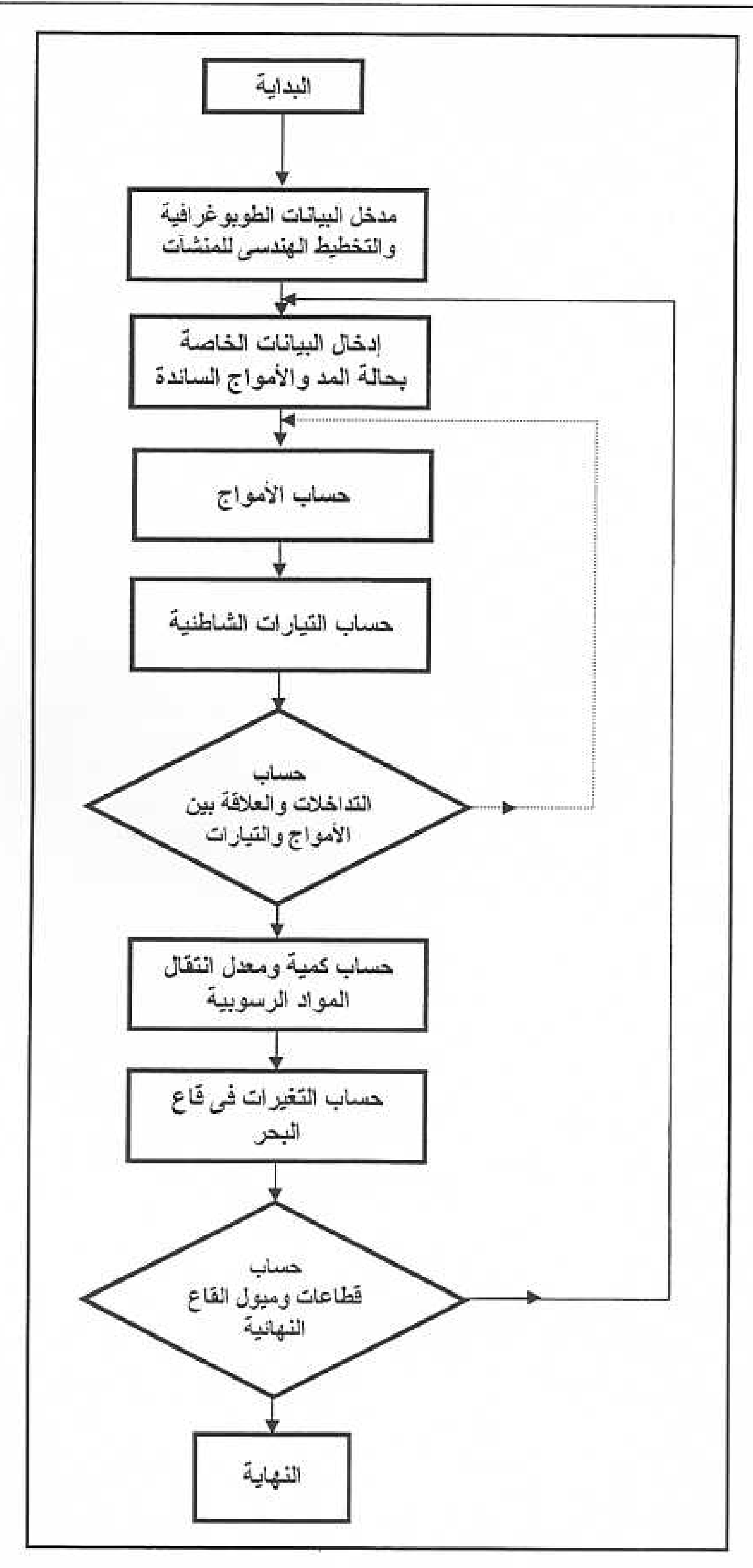
ويجب أن يقوم النموذج الرياضي الخاص بتأثير الأمواج على نحو كبير من الدقة بتمثيل كلا من ظاهرة الانتشار والانكسار والانعكاس نتيجة وجود عوائق طبيعية أو كنتيجة لاختلاف الأعماق وطبوغرافية المنطقة. كما يجب أن تمثل فى النموذج ظاهرة تكسر الأمواج حتى يمكن تحديد خط تكسر الأمواج فى المنطقة الشاطئية بدقة كافية.

ومن اشهر الطرق المعروفة لحساب تقدم الأمواج Wave Ray Method أو Orthogonal Method وهما طريقتان مبسطتان لحساب التغيرات في ارتفاعات الأمواج نتيجة التغير فى الأعماق ولكن لا يمكن الاعتماد عليهما فى حساب معاملات الانتشار، أما طريقتي (Mild Slope Method) و (Modified Mild Slope Method) فهما أكثر دقة ويمكن بهما حساب تقدم الأمواج مع الأخذ فى الاعتبار معاملات الانتشار والانكسار.

كما يجب الأخذ فى الاعتبار تأثير نوعية تربة قاع البحر الرسوبي فى تقدم الأمواج خاصة في المناطق الضحلة وبعد منطقة التكسر، حيث يتعاظم تأثير ذلك في حالة وجود منشآت داخل المنطقة المحصورة ما بين خط الشاطئ وخط التكسر.

٢-٣-٢-٣-٣ النماذج الرياضية لحساب التيارات فى المنطقة الشاطئية

تختص هذه النماذج بحساب التيارات فى المنطقة الشاطئية والمتولدة عن تكسر الأمواج واختلاف الأعماق على امتداد المنطقة. وتلك التيارات الناشئة عن الأمواج تكون غير منتظمة التوزيع على امتداد العمق (فى الاتجاه الرأسي) وفى بعض الأحيان تكون مختلفة الاتجاه. ويتضح من ذلك صعوبة حساب توزيع التيارات لتحاكى بدقه الواقع حتى مع استخدام نموذج رياضي ثلاثي الأبعاد. ولهذا السبب فانه من المتعارف عليه - حتى الآن - أن حساب التيارات يتم من خلال نموذج ثلاثي الأبعاد بفرض أن توزيع التيارات على امتداد العمق يكون منتظما.



شكل رقم (٢-٢٢) الهيكل العام للنموذج الرياضى ثلاثى الأبعاد لحساب تشكل خط الشاطئ والأعماق فى المنطقة الشاطئية

٢-٣-٢-٣-٤ النماذج الرياضية لحساب تأثير وجود منشآت صناعية على اتزان المنطقة الشاطئية

تتكون هذا النماذج من عدة حلقات حسابية متكاملة (Integrated) لحساب الظواهر الطبيعية البحرية التي تؤثر على اتزان الشاطئ (الأمواج - التيارات - المواد الرسوبية ٠٠٠الخ)٠ وعادة ما تكون هذه النماذج ثلاثية الأبعاد حتى يمكن حساب التغيرات الطبوغرافيه في المنطقة الشاطئية نتيجة لوجود المنشأ وما ينتج عنه من تغيرات. وقبل البدء في إدخال حدود المنشأ الصناعي لجزء من الـ(Boundary Conditions) يجب اختبار ومعايرة البرنامج وتقييم النتائج وبعدها يتم وضع شكل وخصائص المنشأ كمتغير خارجي يؤثر على الخصائص البحرية المقاسة بواسطة النموذج الرياضي المستخدم.

ويجب أن يحدد بوضوح كامل درجة الدقة والافتراضات المأخوذة خلال تشغيل النموذج حتى لا تعطي النتائج صوره غير سليمة للدارس أو للباحث أو للمصمم الذي سيستخدم النتائج عند تصميم وتخطيط المنشأ.

٢-٣-٢-٣-٥ نماذج رياضية لدراسة التغيرات فى منسوب سطح البحر نتيجة ظاهرة المد والجزر

تظهر أهمية التعرف على خصائص المد والجزر فى المناطق الشاطئية التي تمثل ظاهرة تغير منسوب سطح البحر قوة طبيعية تؤثر على خلق تيارات ذات دور مؤثر على اتزان المنطقة الشاطئية. ولحساب التغيير فى منسوب سطح البحر نتيجة ظاهرة المد والجزر (الكوني) يجب التعرف على الثوابت الجرمية (نسبة للأجرام السماوية) لمكان المشروع (Constituents). ويمكن تحديد هذه الثوابت من القياسات الحقلية فى مكان المشروع ويعتمد عدد ودقة حساب الثوابت الجرمية على مدة القياسات. ومن أهم الثوابت الجرمية هي المتعلقة بحركة الشمس S_1 , S_2 ٠٠٠ والقمر M_1 , M_2 ومن المتعارف عليه أن اقل مده للقياسات الفعلية للمد والجزر يمكن استخدامها للتنبؤ بظاهرة المد والجزر للمشروعات الكبيرة هي سنه ميلادية واحدة.
أما فى المشروعات المتوسطة والصغيرة فانه من المقبول عمليا الاعتماد على قياسات حقليه لمدة ٦ اشهر إلى شهر واحد على التوالي.

وتستخدم النتائج التي يتم الحصول عليها من برامج التنبؤ بتغير منسوب البحر كمدخلات بيانات لبرامج حساب اتزان الشاطئ المتكاملة.

الباب الثالث
تخطيط منشآت حماية الشواطئ وتأثيرها على المنطقة الشاطئية

٣-١ تطور المنطقة الشاطئية

يمكن تعريف المنطقة الشاطئية - من الوجهة العملية - بأنها المنطقة التي تمتد من عمق مياه حوالي ٣٠ متر في البحر إلى مسافة حوالي ١٠ كم في البر في المناطق الصحراوية أو إلى خط كنتور(+ ٣،٠) في منطقة دلتا نهر النيل إلا إذا أعترضها آي عائق مرتفع مثل جبال أو هضاب صخرية صلدة فتنتهي عندها.

وهذه المنطقة تتأثر بشكل ملحوظ وبصفة مستمرة بقوى الظواهر الطبيعية البحرية والجوية والأرضية ، وهذه الظواهر تغير من خصائصها بالإضافة إلى تأثير المنشآت الشاطئية عليها سواء بهدف أعمال التنمية أو إنشاء بلاجات سياحية أو أعمال لحماية الشاطئ نفسه أو للمحافظة على المنشآت خلفه.

٣-١-١ تصنيف مشاكل الشواطئ

تنقسم مشاكل الشواطئ إلى :-

٣-١-١-١ مشاكل نحر (Erosion Problems)

وفيها يتراجع خط الشاطئ إلى داخل البر مسببا ضياع أجزاء من الأرض وما عليها من منشآت وطرق وبنية أساسية وخلافه ، كما ينتج عنه تقدم الملوحة داخل الأرض مما يزيد نسبة الملوحة بها ويحدث النحر من سببين أساسيين :-

<u>أولاً</u> - تدخل الإنسان مثل إقامة المنشآت ، أو أعمال التكريك التي تؤثر على منظومة عمليات الشواطئ (Coastal Processes) مسببة الآتي :-

* اعتراض حركة المواد الرسوبية على طول الشاطئ (Littoral Drift).
* تغيير في منظومة التيارات وتغير اتجاهها.
* إزالة المواد الرسوبية من المياه الشاطئية أو توقف التغذية من أعمال التكريك.
* تغيير منظومة الأمواج (Wave Regime) بواسطة انعكاسها (Reflection) أو انتشارها (Diffraction) أو انكسارها (Refraction) أو تكسرها Breaking أو..... .
* حجب وصول كميات كبيرة من المواد الرسوبية إلى البحر كما هو الحال في إنشاء السدود على الأنهار مثل السد العالي على نهر النيل.

<u>ثانياً</u> - قوى الطبيعة التي تهاجم الشاطئ وتشمل الظواهر التالية:-

- الرياح.
- الأمواج وما ينتج عنها من تيارات بحرية أو شاطئية.
- تغير منسوب سطح البحر نتيجة للمد والجزر [بنوعيه الكوني والمناخي].
- التيارات البحرية بكافة أنواعها.
- التغير في منسوب المياه الجوفية.
- حركة الأرض وهبوطها.
- نوعية المواد الرسوبية المكونة للشاطئ ولقاع البحر.
- التغير في كميات المياه والمواد الرسوبية التي تصل إلى البحر عن طريق مصبات الأنهار نتيجة للتغيرات المناخية.
- الزلازل.

٣-١-١-٢ مشاكل الترسيب (Sedimentation Problems)

وهى تنحصر في ترسب المواد الرسوبية المتحركة في مداخل بواغيز البحيرات أو مصبات الأنهار مما يعيق حركة الملاحة ودخول وخروج سفن الصيد وكذلك منع ذرّيعة الأسماك من الدخول إلى البحيرات. وفى حالة انسداد (غلق) البواغيز تزداد درجة ملوحة المياه وهذا يؤدى هلاك الأسماك وقد يكون الترسيب نتيجة حركة المواد الرسوبيه على طول الشاطئ أو من الحركة المتذبذبة في الاتجاه العمودي على الشاطئ أي (Onshore-Offshore or Cross-Shore) أو قلة الموارد المائية التي تصل البحر عن طريق بواغيز البحيرات أو مصبات الأنهار والتي كانت تساعد على عملية تطهيرها (Flushing) ذاتيا.

٣-١-٢ العوامل الهيدروديناميكية المؤثرة على حركة المواد الرسوبية في منطقة زبد البحر

تتأثر منطقة زبد البحر أساسا بالرياح التي تولد الأمواج والتيارات البحرية وتغير منسوب سطح البحر وتتحد تلك العوامل جميعها فتسبب وتشكل حركة المواد الرسوبية على الشاطئ التي بدورها تغير من شكل قطاع الشاطئ (Beach Profile).

فعندما تتقدم الأمواج في المياه الضحلة وتصل إلى عمق معين تبدأ حركة المياه المتغيرة مع الزمن في التأثير على حبيبات المواد الرسوبية على قاع البحر. ويمكن حساب حركة المياه المتذبذبة على أساس أن حركة الأمواج الفعلية تكون متذبذبة بالقرب من قاع البحر وفقا لنظرية الأمواج الخطية (Linear Wave Theory) لذلك فإن التيارات البحرية آلتي تتولد عن هذه الحركة تتسبب في حركة تأرجحية للمواد الرسوبية مما يسهل عملية نقلها من مكان إلى آخر. وتعتبر الأمواج المهاجمة للشاطئ العامل الرئيسي في بدء تحريك المواد الرسوبية التي تعمل التيارات البحرية على نقلها. ويكون تحرك المواد الرسوبية خارج منطقة زبد البحر على هيئة حمل قاع (Bed Load) وحمل معلق (Suspended Load). أما في منطقة زبد البحر فإن معظم حركة المواد الرسوبية تكون على هيئة حمل معلق في اتجاه موازى للشاطئ.

٣-٢ تشكل خط الشاطئ

يعتمد اتزان جزء معين من الشاطئ على تساوى حجم المواد الرسوبية الداخلة إليه مع الخارجة من هذا الجزء سواء في الاتجاه الموازي أو العمودي على خط الشاطئ. وعلى وجه العموم يكون الشاطئ أما في حالة نحر أو ترسيب أو اتزان. فعندما تكون كمية المواد الرسوبية المتاحة الداخلة لجزء معين من الشاطئ أقل من كمية المواد المتحركة الخارجة من هذا الجزء يحدث نحر بالشاطئ ويتراجع خط الشاطئ في اتجاه البر. أما إذا كانت كمية المواد الرسوبية الداخلة أكبر من الكمية الخارجة من جزء الشاطئ تحت الدراسة يحدث ترسيب ويتقدم خط الشاطئ في اتجاه البحر. ويحدث الاتزان بالشاطئ في حالة تساوى كميات المواد الرسوبية الداخلة مع تلك الخارجة من جزء معين من الشاطئ وبذلك يبقى خط الشاطئ في مكانه مستقرا.

٣-٢-١ انتقال المواد الرسوبية في المنطقة الشاطئية

تتم حركة المواد الرسوبية في منطقة زبد البحر بطريقتين إما عموديا على الشاطئ (Onshore-Offshore) أو موازيا للشاطئ (Longshore) أو الاثنين معاً. وتعتمد الحركة العمودية على الشاطئ على درجة انحدار الأمواج (Wave Steepness) ، وحجم حبيبات المواد الرسوبية ، وميل الشاطئ. أما الحركة الموازية للشاطئ فتنتج عن مركبة الأمواج في اتجاه الشاطئ والتيارات الناشئة عن تكسر الأمواج.

٣-٢-٢ معامل الخشونة "f_ω"

يمكن حساب معامل الخشونة الناتج عن تأثير حركة الأمواج على قاع البحر بطريقة جونسون (Jonsson) كالآتي:

$$f_\omega = \frac{2}{R_n^{1/2}} \qquad (3\text{-}1)$$

حيث (R_n) عدد رينولدز (Reynolds Number) محسوبا لنصف ارتفاع الموجة "a" خارج طبقة الجدار (Boundary Layer) كالآتي :

$$R_n = \frac{U_o . a}{\nu} \qquad (3\text{-}2)$$

حيث أن:

ν : اللزوجة الكينماتيكية للمياه

U_o : أقصى سرعة أفقية لجزيئات المياه وتحسب كالآتي :

$$U_o = (2\pi / T).a \qquad (3\text{-}3)$$

باعتبار أن "T" هي زمن الموجة ، "π" هي النسبة التقريبية .
والشكل رقم(٣-١) يوضح العلاقة بين معامل الخشونة "f_ω" وعدد رينولدز (R_n) للقيم المختلفة والخشونة النسبية "a/k_s" (جونسون).

حيث :

k_s : سمك الخشونة لقاع البحر. (ينظر لاحقا)

a : نصف ارتفاع الموجة = 0.5H

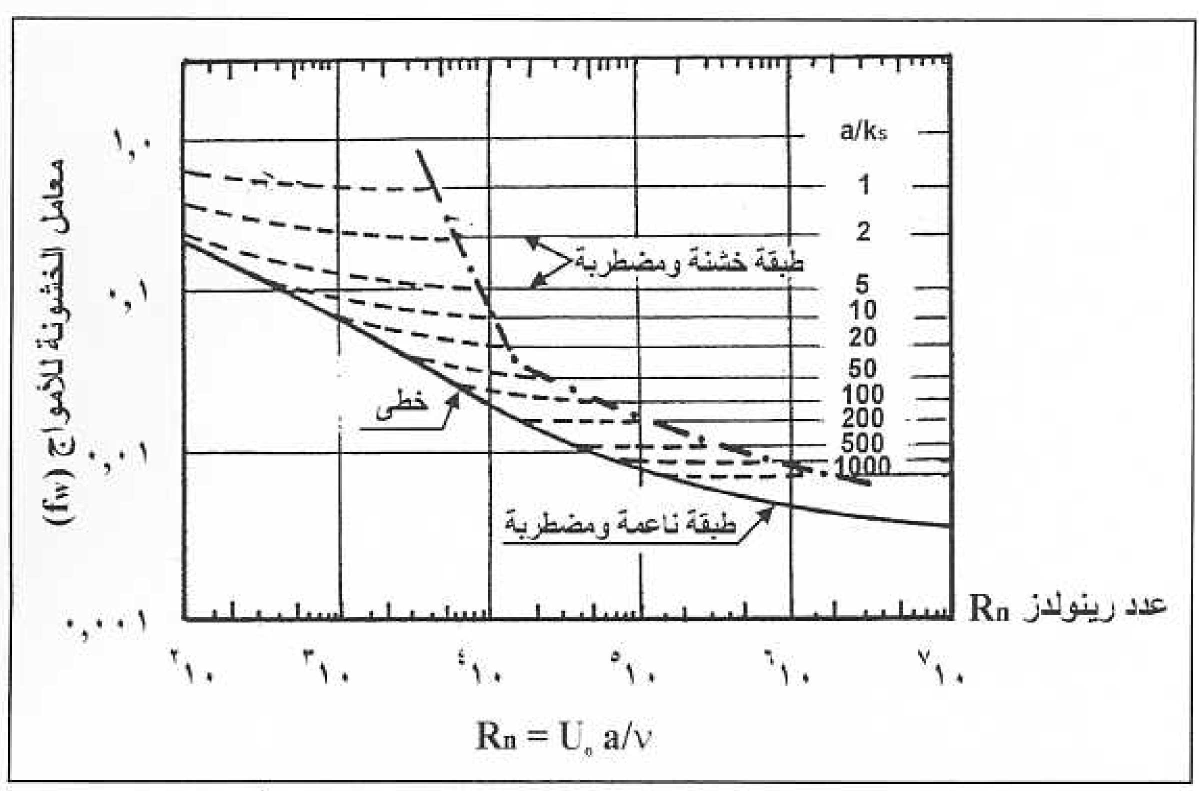
H : ارتفاع الموجة

ويجب ملاحظة أنه في حالة الحركة الاضطرابية(Turbulent Motion) فوق سطح خشن كما هي الحالة في تأثير حركة الأمواج على قاع البحر فإن معامل الخشونة يعتمد فقط على الخشونة النسبية "a / k_s". كما يمكن حساب معامل الخشونة (f_ω) من معادلة سوارت (Swart) كالآتي:

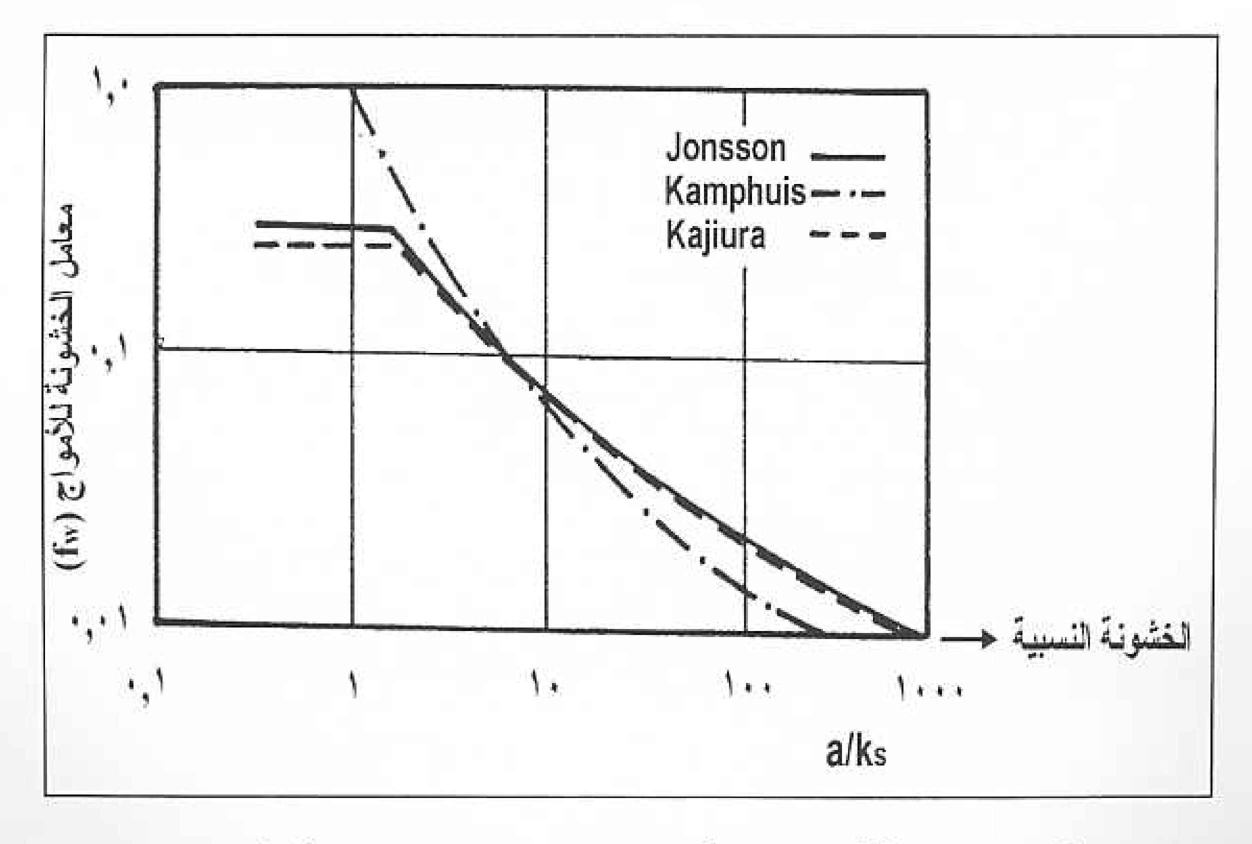
$$f\omega = \exp[5.213 (D_o/a)^{0.194} - 5.977] \qquad (3\text{-}4)$$

وهذه هي الطريقة التقريبية لطريقة جونسون وتستخدم في حالة إذا ما يكون "$a/ D_o>1.7$" بفرض أن سمك خشونة قاع البحر هو "D_o". أما في حالة صغر هذه القيمة فإن معامل الخشونة يؤخذ قيمة ثابتة : "$f_\omega = 0.28$" ويمكن حساب قيمة سمك خشونة قاع البحر الرسوبي "D_o" بطريقة (Nielsen) على أنه يساوى قطر حبيبات المواد الرسوبية (D) عندما يكون قاع البحر مستوى وناعم. أما في حالة عدم نعومة قاع البحر شكل (٣-٢) فإن

$$D_o = 2.5\, D \qquad (3\text{-}5)$$



شكل رقم (٣-١) العلاقة بين عدد رينولدز (R_n) ومعامل الخشونة (f_w)



شكل رقم (٣-٢) العلاقة بين الخشونةالنسبيه (a/k_s) ومعامل الخشونة للأمواج (f_w)

أما في حالة وجود تعرجات (Ripples) على قاع البحر بارتفاع (n) وطول (ℓ) يكون :

$$D_o = 25 \ (n^2/\ell) \qquad (3\text{-}6)$$

٣-٢-٣ بداية تحرك مواد القاع

يمكن حساب بداية تحرك المواد الرسوبية على الشاطئ من معادلة كومار وميللر (Komar and Miller) على أساس أن قطر الحبيبات(D) كما يلي:

أ – في حالات قطر الحبيبات للمواد الرسوبية أقل من ٥ر٠ مم ($D < 0.5mm$) فتحدد بداية الحركة من المعادلة الآتية :

$$\rho . Uo^2 / [(\rho_s - \rho) \ g.D] = 0.21 \ (d_o/D)^{1/2} \qquad (3\text{-}7)$$

حيث أن:

ρ : كثافة المياه.

ρ_s : كثافة المواد الرسوبية .

g : عجلة الجاذبية .

D : قطر الحبيبات الرسوبية .

d_o : قطر الحركة المدارية للأمواج بجوار القاع .

U_o : سرعة حركة الأمواج بجوار القاع حسب نظرية الأمواج الخطية (Linear Wave Theory) كالأتي:

$$U_o = \frac{\pi H}{T\sinh(2\pi d/L)} = \frac{\pi d_o}{T} \qquad (3\text{-}8)$$

حيث أن:

H : ارتفاع الموجة.

d : عمق المياه.

T : زمن الموجة

L : طول الموجة

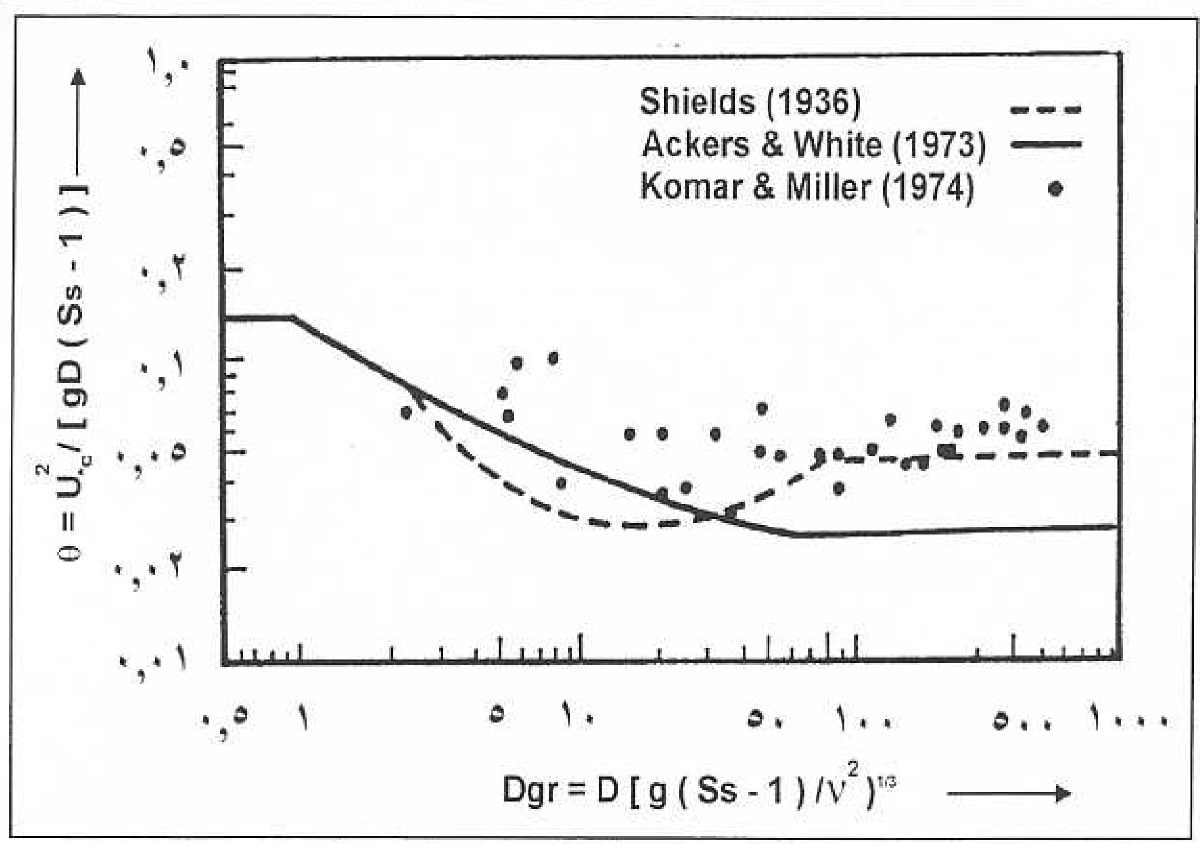
ب - في حالات المواد الرسوبية التي تزيد أقطارها عن ٥ر٠ مم ($D > 0.5$ mm) فتحدد بداية الحركة من المعادلة التالية:

$$\rho \ Uo^2 / [\rho_s - \rho) \ g. \ D] = 0.46 \ (d_o/D)^{1/4} \qquad (3\text{-}9)$$

كما يمكن تحديد بداية الحركة من شكل (٣-٣) كما جاء بدراسة (Willis).

٣-٢-٤ حركة المواد الرسوبية الموازية للشاطئ Longshore Transport

يمكن حساب كمية المواد الرسوبية المتحركة بموازاة الشاطئ بمعادلات وضعيه كثيرة وإن كان استخدام هذه المعادلات مازال محدودا نظرا لنقص القياسات الحقلية اللازمة لتحقيقها في المواقع المختلفة.



شكل رقم (٣-٣) بداية تحرك المواد الرسوبية

والأربعة معادلات الأكثر شيوعا في الاستعمال لهذا الغرض هي :

(ا) معادلة جالفن (Galvin)، (ب) معادلة (CERC) ، (ج) معادلة كامفيوس وآخرين (Kamphius et al.,) ، (د) معادلة بيكر (Bijker).

(ا) معادلة جالفن هي :

$$Q_s = 2 \times 10^{5} .\ H_b^2 \qquad (3\text{-}10)$$

حيث:
Q_s : معدل تحرك المواد الرسوبية على الشاطئ بالياردة المكعبة / السنة.
H_b : ارتفاع الموجة المتكسرة بالقدم.
وبالوحدات المترية تكون المعادلة رقم (٣-١٠) كالآتي :

$$Q_s = 4500\ H_b^2 \qquad (3\text{-}11)$$

حيث:
Q_s : معدل تحرك المواد الرسوبية على الشاطئ بالمتر المكعب / اليوم.
H_b : ارتفاع الموجة المتكسرة بالمتر.

(ب) معادلة (CERC) وهى :

معادلة بالنظام الإنجليزي تعطى قيمة (Q_s) كدالة في طاقة الأمواج ($P_{\ell s}$)، شكل (٣-٤) كالآتي :

$$Q_s = 7500\ P_{\ell s} \qquad (3\text{-}12)$$

حيث أن:

Q_s : بالياردة المكعبة / السنة

$P_{\ell s}$: هي طاقة الأمواج بالقدم - رطل/الثانية - للقدم الطولي من الشاطئ على أساس إن ارتفاع الموجة هو (Significant Wave Height) في منطقة زبد البحر وتكون كالآتي :

$$P_{\ell s} = (\gamma/8)\ H^2_{b\ 1/3}.\ C_{gb}.\ \sin\alpha_b.\ \cos\alpha_b \qquad (3\text{-}13)$$

حيث أن:

H_b, C_{gb}, α_b هي قيم ارتفاع الموجة وسرعة انتقال مجموعة الأمواج والزاوية آلتي تصنعها الأمواج مع خط الشاطئ عند التكسر بترتيب قراءتها.

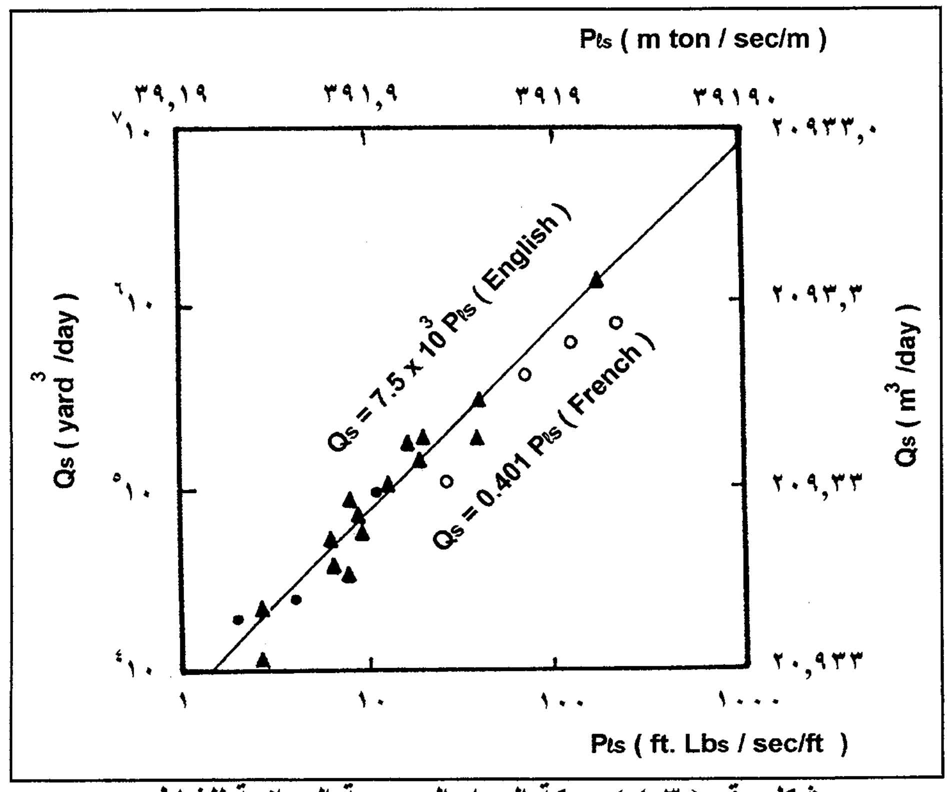
وبوحدات النظام الفرنسي تصبح المعادلة رقم (٣-١٢) كالآتي :

$$Q_s = 0.401\ P_{\ell s} \qquad (3\text{-}14)$$

حيث أن:

Q_s : بالمتر المكعب / اليوم

$P_{\ell s}$: بالطن. متر / ثانيه - للمتر الطولي من الشاطئ.



شكل رقم (٣-٤) حركة المواد الرسوبية الموازية للشاطئ

(ج) معادلة كامفيوس وآخرين (Kamphuis et al.) بوحدات (S.I) كالآتي:

$$Q_s = 2.5\ (m/D)\ H_b^{7/2}.\ \sin \alpha_b.\ \cos \alpha_b \qquad (3\text{-}15)$$

حيث أن:
Q_s : بالكيلوجرام/الثانية
m : ميل الشاطئ
D : قطر حبيبات المواد الرسوبية بالمتر
H_b : ارتفاع الموجة المتكسرة بالمتر
α_b : ميل الأمواج المتكسرة مع خط الشاطئ بالدرجات
وتصبح هذه المعادلة في النظام المتري أو النظام الفرنسي كالآتي :

$$Q_s = (m/D)\ (H_b^{7/2}.\ \sin \alpha_b.\ \cos \alpha_b) \qquad (3\text{-}16)$$

حيث (Q_s) بالمتر المكعب/اليوم.
أما ميل الشاطئ (m) فيحسب بطريقة كامفيوس وساياو (Kamphius and Sayao) كالآتي :

$$m = 1.8\ (H_b/D)^{-0.5} \qquad (3\text{-}17)$$

(د) معادلة بيكر (Bijker) وهى معادلة لحساب حمل القاع في منطقة زبد البحر فهي كالآتي :

$$\mathbf{q_{bed} = 5D_{50}(V/C)g^{1/2} \exp\left[\frac{-0.27D_{50}\Delta\rho g}{\ell\tau_c[1+1/2(\varepsilon U_o/V)^2]}\right]} \qquad (3\text{-}18)$$

حيث أن:
D_{50} : قطر حبيبات المواد الرسوبية
V : السرعة المتوسطة للتيار البحري
C : معامل تشيزى (Chezy)
g : عجلة الجاذبية
Δ : الكثافة النسبية الظاهرية للمواد الرسوبية وتعرف كالآتي:

$$\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho \qquad (3\text{-}19)$$

حيث أن:
ρ_s : كثافة المواد الرسوبية لقاع البحر
ρ : كثافة مياه البحر
ℓ : معامل التعرجات لقاع البحر ويعرف كالآتي :

$$\ell = (C/C_{90})^{1.5} \qquad (3\text{-}20)$$

حيث (C_{90}) هو معامل تشيزى محسوبا لقطر الحبيبات (D_{90}) ، (ε) معامل بيكر ويعرف كالآتي:

$$\varepsilon = C\,(f_{\omega}/2g)^{1/2} \qquad (3\text{-}21)$$

حيث أن:

f_{ω} : معامل الخشونة حسب طريقة جونسون (Jonsson) معادلة رقم (٣-١)

τ_c : عزم القص على قاع البحر نتيجة للتيار البحري.

U_o: أقصى سرعة لجزيئات المياه في حركتها المدارية عند القاع.

وقد أفترض بيكر أن حركة حمل القاع تحدث في طبقة بسمك يساوى سمك خشونة القاع.

وقد حسب بيكر الحمل المعلق (q_{SUS}) بالمعادلة الآتية :

$$q_{SUS} = 1.83\, q_{bed}\, [I_1 \ln (33\, (d / k_s)) + I_2] \qquad (3\text{-}22)$$

حيث أن:

d : عمق المياه في مكان معين

k_s: خشونة القاع

I_1, I_2 : هما معاملات التكامل كدالة في z_* ، a/d حيث (a) هي سمك طبقة القـاع وتسـاوى ($2\,D_{50}$)

شكل (٣-٥) ، شكل (٣-٦) كالآتي :

$$I_1 = \frac{0.216 (k_s/d)^{z_*-1}}{(1-(k_s/d))^{z_*}} \int_{k_s/d}^{1} ((1-y)/y)^{z_*}\, dy \qquad (3\text{-}23)$$

$$I_2 = \frac{0.216 (k_s/d)^{z_*-1}}{(1-(k_s/d))^{z_*}} \int_{k_s/d}^{1} ((1-y)/y)^{z_*} \ln y\, dy \qquad (3\text{-}24)$$

$$z_* = v_s/(K\, U_{*c}) \qquad (3\text{-}25)$$

حيث أن:

v_s : سرعة سقوط حبيبات المواد الرسوبية

K : معامل فون كارمن (Von Karman)

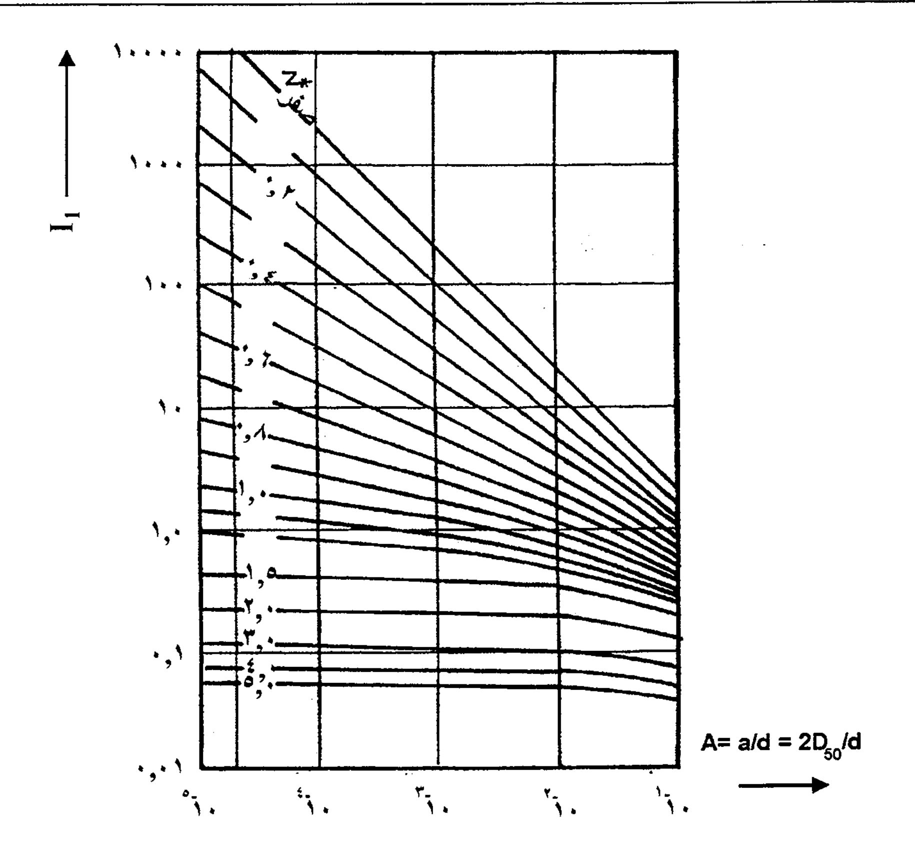
U_{*c} : تعرف كالآتي :

$$U_{*c} = U_* \left[1+(1/2)\,(\varepsilon U_o/v)^2\right]^{1/2} \qquad (3\text{-}26)$$

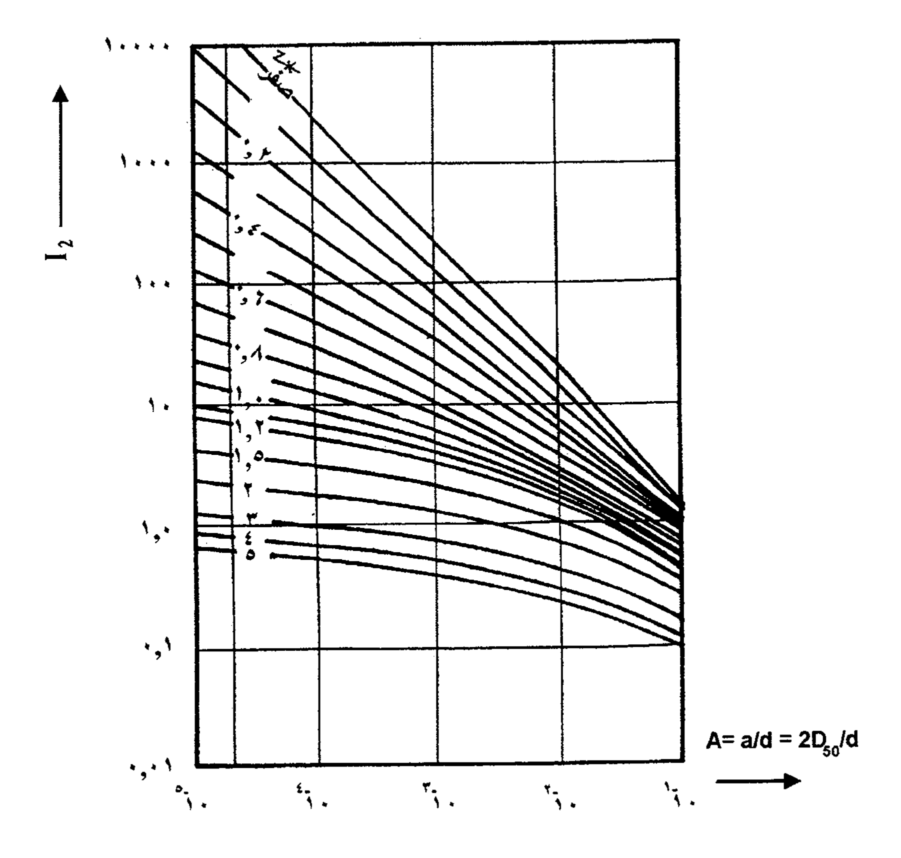
حيث "U_*" هي سرعة القص للتيار البحري.

وبذلك يمكن حساب الحمل الكلى للمواد الرسوبية (Q_s) على أنه مجموع حمل القاع "q_{bed}" مضـافا إليـه الحمل المعلق "q_{SUS}" :

$$Q_s = q_{bed} + q_{SUS} \qquad (3\text{-}27)$$



شكل رقم (٣-٥) معامل التكامل I_1



شكل رقم (٣-٦) معامل التكامل I_2

٣-٢-٥ حركة المواد الرسوبية العمودية على الشاطئ
(Onshore-Offshore Transport)

تعمل معظم النوات البحرية على تحريك كميات كبيرة من المواد الرسوبية بعيدا عن الشاطئ. وتعود هذه المواد إلى الشاطئ بعد هدوء العواصف بواسطة الأمواج الطويلة (Swells) وهي التي تعرف في الأوساط البحرية باسم "الأمواج المدفونة". ولإمكان حدوث اتزان في ميل الشاطئ يجب أن تتحرك المواد الرسوبية في اتجاه الشاطئ أو بعيدا عنه وفقا للتغير في خصائص الأمواج والتي يعبر عنها بميل الأمواج (Wave Steepness-- H_o/L_o).

حيث أن:
L_o: طول الموجة في المياه العميقة.
H_o: ارتفاع الموجة في المياه العميقة.

وبصفة عامة فإنه عندما تكون (H_o/L_o) عالية القيمة فإن المواد الرسوبية تتحرك بعيدا عن الشاطئ وفى حالة القيم الصغيرة لهذه النسبة فإن المواد الرسوبية تتحرك في اتجاه الشاطئ.
وعامة يزيد ميل الشاطئ عندما تزيد قطر حبيبات المواد الرسوبية المكونة له. ويقل ميل الشاطئ كلما زاد ارتفاع الأمواج. وفى حالة صغر ميل الشاطئ الرسوبي تكون حركة المواد الرسوبية في اتجاه الشاطئ نظرا لصغر قيمة الانعكاس (Reflection). أما في حالة زيادة معامل الانعكاس كما هو في حالة الميول الكبيرة للشاطئ وصغر الأمواج فإن حركة المواد الرسوبية تكون في اتجاه بعيدا عن الشاطئ. وقد أعطى هاتوري وكواماتا (Haturi &Kawamata) علاقة تبين اتجاه حركة المواد الرسوبية سواء في اتجاه الشاطئ أو بعيدا عنه وذلك على النحو الآتي:-
عندما تكون قيمة الدالة:

$$\text{If}: (H_o/L_o)\tan\beta/(v_f/(g.T)) \quad \begin{cases} < 0.5 & \text{حركة في اتجاه الشاطئ} \\ = 0.5 & \text{شاطئ متزن} \\ > 0.5 & \text{حركة بعيدا عن الشاطئ} \end{cases} \qquad (3\text{-}28)$$

٣-٢-٦ النظريات والمعادلات الخاصة بتشكل خط الشاطئ

عندما يكون الشاطئ في حالة اتزان ديناميكي (Dynamic Equilibrium) يكون تشكل الشاطئ الناتج عن التغير في خصائص الرياح والأمواج والتيارات البحرية موسميا فقط على هيئة نحر أو ترسيب موسمي مؤقتا في الشاطئ. أما التغيرات الأخرى المستمرة فتنتج من عوامل أخرى ولكن غالبا ما تكون بسبب وجود منشآت . فعند إقامة منشأ على الشاطئ يحدث عدم اتزان في كميات المواد الرسوبية المتحركة وينتج عن ذلك تشكل في الشاطئ. ومثال ذلك عند إنشاء حاجز أمواج متصل بالشاطئ فإنه يحدث ترسيب أمام الحاجز (Updrift) ونحر خلف الحاجز (Downdrift) حسب اتجاه حركة المواد الرسوبيه.

٣-٢-٦-١ النظريات المتاحة (عام)

تعتبر طرق التنبؤ بتشكل الشاطئ من الأهمية بمكان نظرا للاهتمام المتزايد بالبيئة الشاطئية ولارتفاع تكاليف أعمال الصيانة. ومع أنه توجد حلول نظرية للحالات المثالية البسيطة كحالة اتجاه واحد للأمواج وحركة خطية للمواد الرسوبية. إلا أن الحالات الواقعية عادة ما تكون أشد تعقيدا من ذلك نظرا لتغير اتجاه حركة المواد الرسوبية ، وتغير ارتفاع الأمواج ووجود منشآت شاطئية متعددة.

ودراسة تشكل الشاطئ يكون بطرق مختلفة أما عن طريق تجميع البيانات الحقلية وهذه طريقة كثيرة التكاليف نظرا لارتفاع تكاليف المعدات المستخدمة ولطول الفترة الزمنية اللازمة لها. كما وأن الدراسة عن طريق استخدام النماذج الطبيعية المصغرة فتكاليفها هي الأخرى تكون عادة مرتفعة بالإضافة إلى الصعوبات الفنية الناتجة عن مقياس التصغير. أما استخدام النماذج الرياضية فتكاليفها عالية إلى حد ما ولكنها تسمح بالاستعانة بجميع القياسات الحقلية والتجارب المعملية. وقد تبين أن أحسن الوسائل لدراسة تشكل الشاطئ هو الاستعانة بجميع الطرق السابق ذكرها كلما أمكن ذلك.

وقد أعطى وانج ولوماهوتيه (Wang and Le Mahaute) طريقة لتحديد اتزان شاطئ مستقيم، شكل (٣-٧) وذلك بإدخال تغير مبدئي على شاطئ متزن بفرض أن ($\partial Q_s/\partial x = 0$)

حيث:-

Q_s: كمية المواد الرسوبية المتحركة

x : البعد الإحداثي على محور موازي لخط الشاطئ

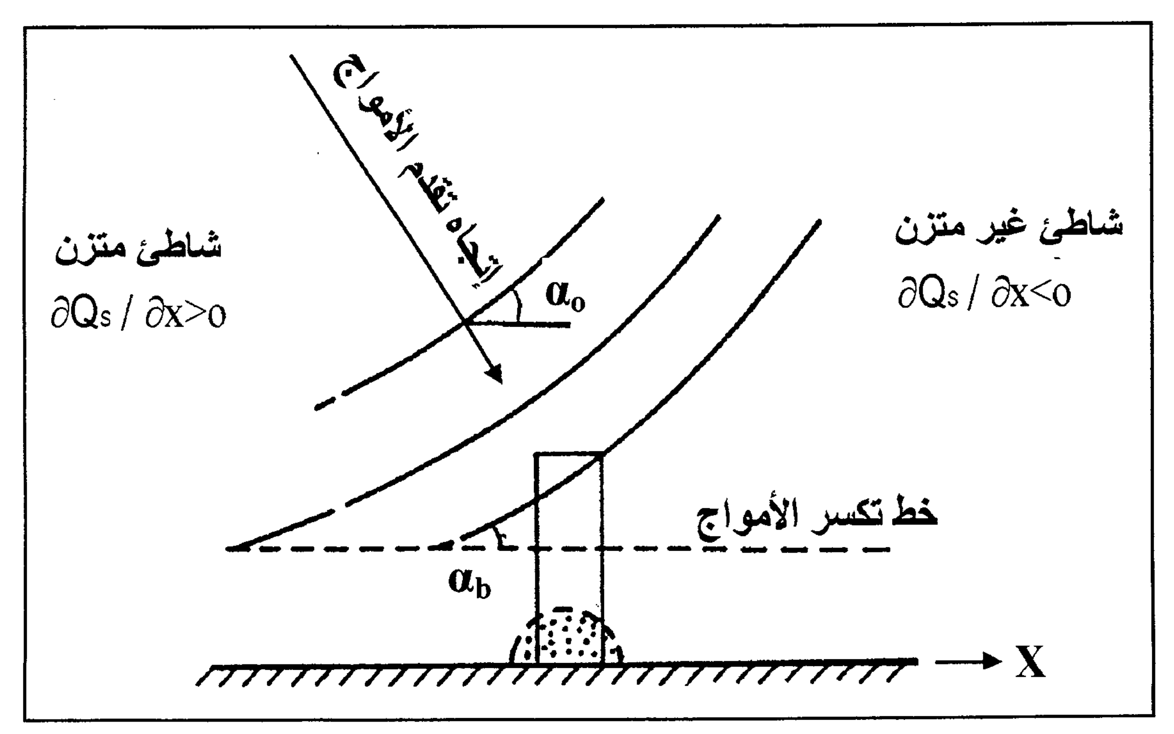
فإذا زادت كمية المواد الرسوبية (Q_s) عن التغير المفروض ، فإن ذلك يدل على أنه سوف يحدث نحر بمعدل متناقص حتى يختفي تماما.

ويكون الشاطئ متزناً إذا كان :

$$\partial Q_s/\partial x > 0 \qquad (3\text{-}29)$$

أما إذا قلت كمية المواد الرسوبية عن التغير المفروض فإن ذلك سوف يزيد في الحجم ويكون الشاطئ غير متزن :

$$\partial Q_s/\partial x < 0 \qquad (3\text{-}30)$$



شكل رقم (٣-٧) عدم الإتزان المحلي للشاطئ

ولتصـميم النتـائج فقـد قـام وانـج ولوماهوتيـه بـافتراض أن "Q_s" دالـة فـي زاويـة انكسـار الأمـواج (α_b) كالآتي:

$$Q_s = f(\alpha_b) \tag{3-31}$$

$$\partial Q_s/\partial x = (\partial Q_s/\partial \alpha_b).(\partial \alpha_b/\partial x) \tag{3-32}$$

وباعتبار أن إشارة التغير المفروض موجبة في حالـة التقدم نحو البحر وسـالبة في حالـة التراجع يكون مؤشر الاتزان هو :

$\partial Q_s/\partial \alpha_b > 0$ اتزان (Stable) (3-33)

$\partial Q_s/\partial \alpha_b < 0$ عدم اتزان (Unstable) (3-34)

وحيث أن "α_b" دالـة فـي ارتفـاع الأمـواج فـي الميـاه العميقـة "H_o" ، وزمـن تـردد الموجـة "T" وميـل الشاطئ "m" ، وميل اتجاه الأمواج مع خط الشاطئ في المياه العميقة "α_o" تكون الحالة الحرجة هي :

$\partial Q_s/\partial \alpha_b = 0$ حالة حرجة critical (3-35)

وقد بين كيونجدك ودالريميل (Kyungduc and Dalrymple) أن اتزان الشـاطئ بدايـة من حالتـه الأولية يمكن تمثيله بحالة تقدم للشاطئ وحالة تراجع للشاطئ وفقا لما يلي :

$$R/W_c = 1/2\,[((6m_c/5m_i)-1)] \tag{3-36}$$

حيث أن:

R : قيمة معينة أو معامل فإذا كانت موجبة يتقدم خط الشاطئ ناحيـة البحر وإذا كانت سـالبة يتراجـع خط الشاطئ ناحية البر

W_c : بعد عمق الأقفال ("h_c" :Depth of Closure) عن خط الشاطئ

m_i : ميل الشاطئ المبدئي

m_c : تعرف كالآتي :

$$m_c = h_c/W_c \tag{3-37}$$

وبذلك يحدث نحر للشاطئ عندما يكون :

$m_i/m_c \geq 6/5$ (For $R \leq 0$) (3-38)

ويحدث ترسيب للشاطئ عندما يكون :

$m_i/m_c \leq 6/5$ (For $R \geq 0$) (3-39)

٣-٢-٦-٢ نظرية الخط الواحد (One-Line Theory)

تستخدم هذه النظرية عند دراسة تشكل الشاطئ في حالة إقامة منشأ عليه مثل حواجز الأمواج أو الرؤوس. وقد أبتكر هذه الطريقة بلنارد - كونسيدير (Pelnard-Considere) عام ١٩٥٤ وفيها تم تمثيل الشاطئ بخط واحد يتقدم تجاه البحر أو يتأخر تجاه البر مع افتراض أن زاوية ميل الشاطئ تظل ثابتة. والمعادلات المطلوبة لدراسة تشكل الشاطئ في هذه الطريقة هما معادلة الاستمرار (Continuity Equation) ومعادلة الحركة (Equation of Motion) وبحل هاتين المعادلتين يمكن الوصول إلى حل عام على جزأين : هما النموذج الأول والنموذج الثاني. وباعتبار قطعة من الشاطئ كالمبينة في شكل (٣-٨) تكون معادلة الاستمرار (Continuity Equation) على النحو التالي:-

$$[Q_x+(\partial Q_x/\partial x)\, dx]\, dt - Q_x\, dt = - (\partial y/\partial t).\, dt.\, dx.\, h. \qquad (3\text{-}40)$$

$$\text{or:} \quad \partial Q_x/\partial x + h\, (\partial y/\partial t) = 0.0 \qquad (3\text{-}41)$$

حيث أن:

Q_x : كمية المواد الرسوبية المتحركة بموازاة الشاطئ عند مسافة (x)

h : سمك طبقة الشاطئ التي يحدث بها تقدم أو تراجع

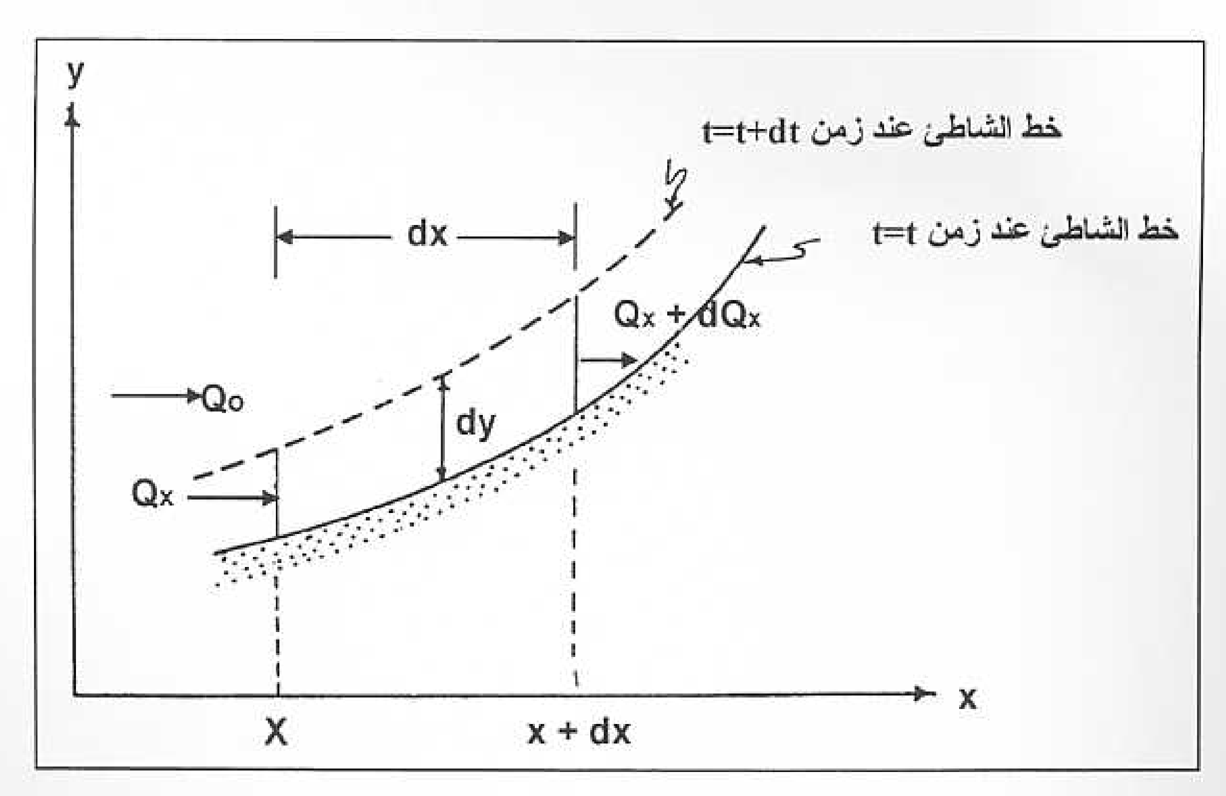
x, y : هما الأبعاد عن المحاور الكارتيزية (Cartesian Coordinates)

t : الزمن

$\partial y/\partial t$: التغير في خط الشاطئ كدالة في الزمن.

وتكون معادلة الحرك Equation of Motion هي :

$$Q_x = Q_o - q.(\partial y/\partial t) \qquad (3\text{-}42)$$



شكل رقم (٣-٨) نموذج الميل للخط الواحد (مسقط أفقى)

$$q = Q_o/\alpha_b \qquad (3\text{-}43)$$

حيث:

Q_o : كمية المواد الرسوبية المتحركة بموازاة الشاطئ

q : التغير في كمية المواد الرسوبية الموازية للشاطئ في مقابل تغير في اتجاه الشاطئ قدره واحد درجة بالتقدير الدائري.

α_b : الزاوية التي يصنعها اتجاه الأمواج مع خط الشاطئ عند التكسر.

وبحل المعادلات (3-41, 3-42, 3-43) ينتج أن :

$$\partial y/\partial t = (1/h)\,[(\partial q/\partial x)(\partial y/\partial x)+q(\partial^2 y/\partial x^2) - (\partial Q_o/\partial x)] \qquad (3\text{-}44)$$

وبفرض قيم ثابتة لكل من (Q_o, q) يكون :

$$\partial y/\partial t = (q/h)(\partial^2 y/\partial x^2) \qquad (3\text{-}45)$$

$$\text{or} : \partial y/\partial t = A\,(\partial^2 y/\partial x^2) \qquad (3\text{-}46)$$

حيث أن :

$$A = q/h = Q_o/(\alpha_b . h) \qquad (3\text{-}47)$$

<u>النموذج الأول (The First Model):-</u>

لحل المعادلة رقم (٣-٤٦) يجب اعتبار شروط حالتي البداية والجدار (Initial and Boundary Conditions) ويكون الحل التحليلي كما هو مبين في شكل (٣-٩) وكما يلي :-

$$y(x,t) = \alpha_b \sqrt{4At/\pi}\,[\exp(-u^2) - u\sqrt{\pi}\theta \qquad (3\text{-}48)$$

$$u = x / \sqrt{4At} \qquad (3\text{-}49)$$

$$\lambda = [\exp(-u^2) - u.\sqrt{\pi}\,\theta] \qquad (3\text{-}50)$$

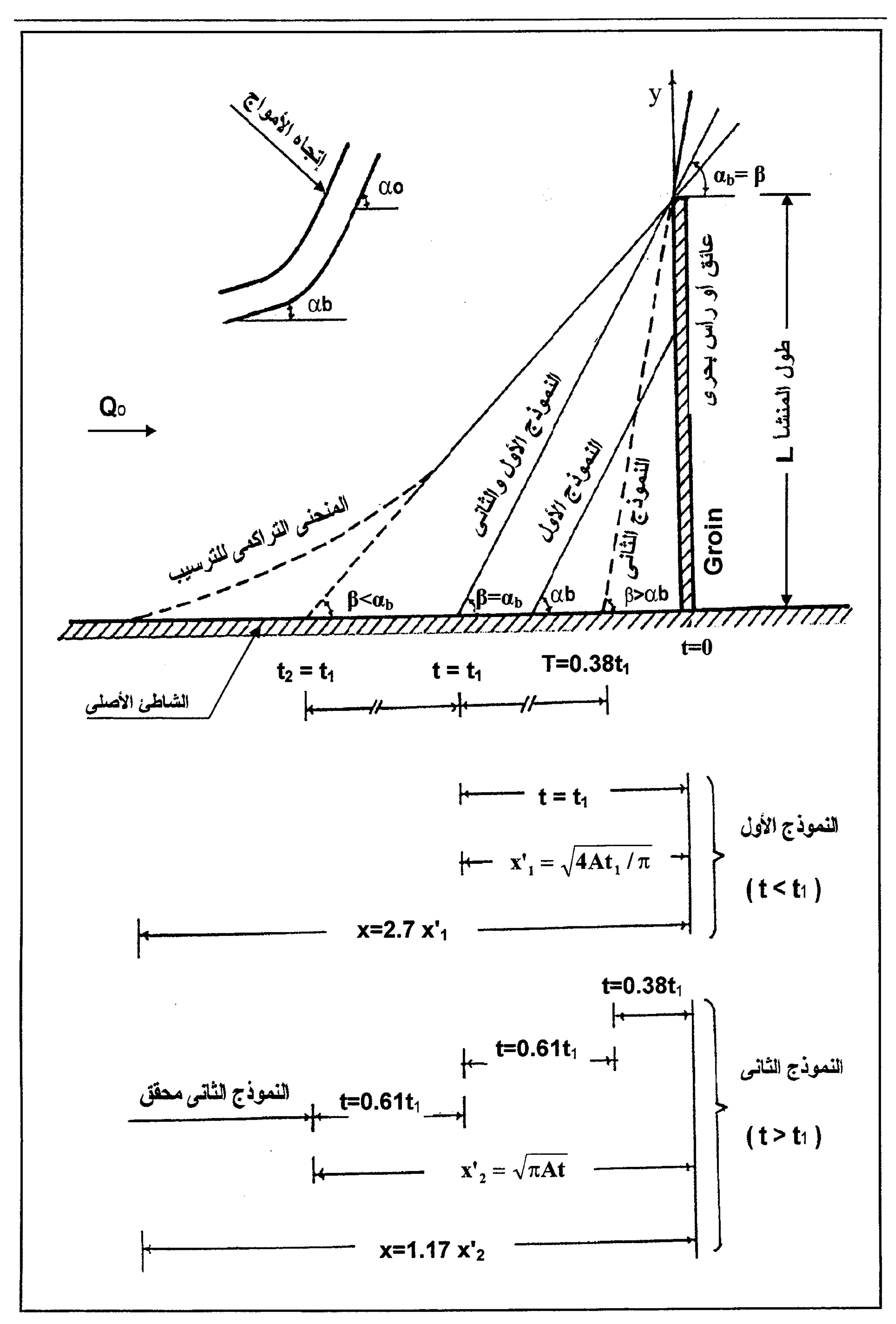
$$\theta = (2/\sqrt{\pi})\int_u^{\infty} \exp(-u^2)\,du = 1 - (2/\sqrt{\pi})\int_0^u \exp.(-u^2)\,du \qquad (3\text{-}51)$$

ويبين جدول رقم (٣-١) قيم كل من (θ,λ).

ويكون الشكل التقريبي لخط الشاطئ حسب المعادلة (٣-٤٨) عند المنشأ حيث $(x = o,\ u = 0,\ \lambda = 1)$ كالآتي :-

$$y = \alpha_b \sqrt{4At/\pi} \qquad (3\text{-}52)$$

حيث (α_b) بالتقدير الدائري.



شكل رقم (٣-٩) نظرية الخط الواحد

جدول رقم (٣-١) بارامترات تقدم خط الشاطىء

u	θ	λ
0.00	1.000	1.000
0.10	0.887	0.832
0.20	0.777	0.685
0.30	0.671	0.556
0.40	0.571	0.446
0.50	0.479	0.353
0.60	0.396	0.276
0.70	0.322	0.212
0.80	0.257	0.161
0.90	0.203	0.121
1.00	0.157	0.089
1.25	0.077	0.038
1.50	0.033	0.015
1.75	0.013	0.005
2.00	0.004	0.001
2.50	0.000	0.000
3.00	0.000	0.000
3.25	0.000	0.000

وعند المنشأ تكون ($x = o$) ويكون تقدم خط الشاطئ ناحية البحر بمقدار (y_1) عند الزمن (t_1) و(y_2) عند الزمن (t_2) أي أن :-

$$y_1/y_2 = \sqrt{t_1/t_2} \qquad (3\text{-}53)$$

وعند مسافة معينة أمام المنشأ (x) يكون التأثير على خط الشاطئ صغير أي تكون قيمة (y) صغيرة وتساوى مثلا ٥ر١% من قيمة (y) عند المنشأ ، ($u = 1.5$) وبذلك يكون :

$$u = x / \sqrt{4At} = 1.5 \qquad (3\text{-}54)$$

$$\therefore x = 1.5 \sqrt{4At} = 2.7\, x'_1 \qquad (3\text{-}55)$$

$$\text{where : } x'_1 = \sqrt{4At/\pi} \qquad (3\text{-}56)$$

وتكون مساحة الترسيب أمام المنشأ هي:

$$(\pi /2) \text{ (Area of Triangle)} = (\pi / 2) [(1/2) x`_1 . y)] \quad (3\text{-}57)$$

وتصل المواد الرسوبية إلى طرف المنشأ في زمن قدره (t_1) كالآتي :

$$t_1 = L^2 \pi / (4 A\alpha^2_b) = 0.785 \; L^2 h / (Q_o \alpha_b) \quad (3\text{-}58)$$

حيث :

L : طول المنشأ عموديا على الشاطئ

Q_o : كمية المواد الرسوبية المتحركة موازية للشاطئ بالمتر المكعب/السنة والمحسوبة من معادلة (CERC) على هيئة:-

$$Q_o = (1.57 \times 10^6) [H^2_b . n_b . C_b . \sin \alpha_b . \cos \alpha_b] \quad (3\text{-}59)$$

حيث :

H_b : ارتفاع الموجة المتكسرة بالمتر

n_b : معامل لحالة التكسر

C_b : سرعة الأمواج عند التكسر بالمتر/الثانية

α_b : الزاوية التي تصنعها الأمواج مع خط الشاطئ عند التكسر بالدرجات.

النموذج الثاني The Second Model:-

عندما تبدأ المواد الرسوبية في الدوران حول طرف المنشأ تكون الزاوية (β) عند المنشأ حيث $(x = 0)$ لا تساوي مقدار ثابت ولكنها تتغير مع الزمن وعليه لا يمكن تطبيق النموذج الأول كما تم شرحه سابقا وفي هذه الحالة يجب تطبيق النموذج الثاني ولا يتطلب ذلك شروط الجدار (Boundary Conditions) لحل معادلة (٣-٤٦) ويكون حل هذه المعادلة هو :

$$y = L . \theta \qquad \& \quad (3\text{-}60)$$

$$dy/dx = (dy/du)\,(du/dx) \quad (3\text{-}61)$$

وبالتعويض في المعادلات (٣-٤٩ ، ٣-٥١) عند المنشأ حيث أن :

$(x = 0)$ ، $(\theta = 1)$ ، $(u = 0)$ يكون :

$$dy / dx = L / \sqrt{\pi At} = \beta \quad (3\text{-}62)$$

وتكون كمية المواد الرسوبية التي تعبر عند طرف المنشأ (Q_{tip}) هي :

$$Q_{tip} = Q_o [1 - (\beta / \alpha_b)] = Q_o [1-(L / (\alpha_b . \sqrt{\pi At}))] \quad (3\text{-}63)$$

وعندما تكون $(\beta = \alpha_b)$ تكون $(Q_{tip} = o)$ ، وعندما تكون $(\beta > \alpha_b)$ تكون كمية المواد الرسوبية التي تعبر عند طرف المنشأ في الاتجاه المعاكس.

وعليه يجب تقسيم الحل إلى جزأين : الجزء الأول يبدأ عند إنشاء المنشـأ وهو محـقق حتى زمن $(t = t_1)$ ويكون حجم المواد المترسبة (V_1) عند ذلك الزمن هو:-

أما في الجزء الثاني فإن حجم المواد المترسبة (V_2) عند الزمن (t_2) هو :

$$V_2 = \int_0^{t2} (Q_o - Qtip)dt \tag{3-65}$$

وبحل هذه المعادلة الأخيرة مع معادلة (٣-٦٣) يكون :

$$V_2 = (Q_o/\alpha_b) \int_0^{t2} \beta \, dt \tag{3-66}$$

$$V_2 = 2.L.h \, (\sqrt{\mathbf{At_2} / \pi}) \tag{3-67}$$

ويكون الحجم(V_1) مسـاو للحجم (V_2) عنـدما تكـون $(\beta = \alpha_b)$ عنـد الزمن (t_2) ولا تعبر أيـة مـواد رسوبية عند طرف المنشأ أي أن :

$$\pi L^2 h / (4\alpha_b) = 2 \, L \, h(\sqrt{\mathbf{At_2} / \pi}) \quad ; \qquad \text{or:} \tag{3-68}$$

$$t_2 = \pi^3 \, L^2 \, h / (64 \, Q_o \, \alpha_b) = 0.617 \, t_1 \tag{3-69}$$

وبالتعويض في معادلة (٣-٦٩) مع معادلة (٣-٦٣) يكون :

$$Q_{tip} = Q_o \, [\mathbf{1} \text{-} (L/(\alpha_b \sqrt{\pi \, A(t - 0.383 \, t_1)}))] \tag{3-70}$$

وباستخدام معادلة (٣-٥٨) وفرض أن $(t_1 = t_{tip})$ يكون :

$$Q_{tip} = Q_o[1\text{-}(2/(\pi \sqrt{((t/t_1) - 0.383)}))] \tag{3-71}$$

ويكون مقدار (Q_{tip}) مساويا للصفر عندما يكون $(t = t_1)$ في المعادلة الأخيرة ولكن يوجد خطـأ فـي ذلك ولذا يستخدم الجدول رقم (٣-٢) لإيجاد القيم الصحيحة.

ولتحديد أقصى مسافة (x) يصل إليها الترسيب أمام المنشأ يتم استخدام المعادلة رقم (٣-٦٢) عند المنشأ حيث $(x = o)$:

$$dy/dx = \beta = L/\sqrt{\pi \ At} = L/x`_2 \qquad (3\text{-}72)$$

$$x`_2 = \sqrt{\pi \ At} = \sqrt{\pi}\ \sqrt{At} \qquad (3\text{-}73)$$

جدول رقم (٣-٢) القيم المصححة للمعادلة رقم (٣ - ٧١)

t / t_{tip}	Q_{tip} / Q_o
< 1.00	**0.00**
1.00	**0.00**
1.25	**0.298**
1.50	**0.394**
2.00	**0.499**
3.00	**0.606**
4.00	**0.665**
5.00	**0.704**

وعندما تكون $y \approx o$ ، $(x = x)$ يكون $(u > 1.5)$ كالآتي :

$$u = 1.5 = x / \sqrt{4\,At} \quad ;or: \qquad (3\text{-}74)$$

$$x = 3.0\ \sqrt{At} \qquad (3\text{-}75)$$

ومن المعادلتين (٣-٧٣ ، ٣-٧٥) يكون :

$$x / x`_2 = 3 / \sqrt{\pi} = 1.7 \qquad (3\text{-}76)$$

$$\therefore\ x = 1.7\ x`_2 \qquad (3\text{-}77)$$

٣-٢-٦-٣ نظرية الخطوط المتعددة Multi-Line Theory

تفترض هذه النظرية أن تمثيل الشاطئ يكون بأكثر من خط واحد أثناء التقدم ناحية البحر أو التراجع ناحية البر. والغرض من ذلك هو تمثيل التغير طويل المدى لخط كنتور أو أكثر للمنطقة الشاطئية. وتتطلب هذه النظرية معرفة حركة المواد الرسوبية العمودية على الشاطئ بالإضافة إلى تلك الموازية للشاطئ. وحيث أن حركة المواد الرسوبية العمودية على الشاطئ مازالت قيد البحث فقد حد ذلك من تطوير واستخدام هذه النظرية. لذلك يجب عند استخدام هذه النظرية في الحياة العملية التحقق من النتائج عن طريق القياسات الحقلية.

وقد قـام بـاكر وبرتلر ورووس (Bakker, Bretler and Roos, 1970) بتمثيل ميل المنطقة الشاطئية بخطين اثنين أو عمقين اثنين(y_1, y_2) ففي هذه الحالة تكون هناك معادلتان اثنتان للتعبير عن حركة المواد الرسوبية في اتجاه الشاطئ وبعيدا عن الشاطئ بين العمقين المفترضين نتيجة لعدم اتزان ميل هذه المنطقة. أما في حالة تمثيل ميل الشاطئ بخطوط متعددة فإنه يكون من الممكن معرفة تشكل كل جزء من قطاع الشاطئ على حدة فمثلا في حالة منشأ طويل عمودي على الشاطئ يكون تشكل الشاطئ أسرع في الجزء الضحل من المنشأ وأبطأ في الجزء الأعمق منه. هذا بالإضافة إلى أن صغر ارتفاع الأمواج في المياه الضحلة تؤثر على حركة المواد الرسوبية. ولذلك فإنه للحصول على تصور كامل لتشكل الشاطئ نتيجة للمنشآت فإنه يجب الأخذ في الاعتبار تغير خصائص الأمواج عند الأعماق المختلفة وتأثير ذلك على حركة المواد الرسوبية. وقد أبتكر بيرلن وديـن (Perlin and Dean, 1983) نظرية متقدمة للميول المتعددة. والميزة الأساسية في نظرية الميول المتعددة أنه يمكن تمثيل تشكل الشاطئ نتيجة لوجود منشآت شاطئية بطريقة أفضل من طريقة الخط الواحد.

٣-٣ أسس اختيار الحمايات وأنواعها المختلفة

يتوقف اختيار أنواع الحمايات المختلفة على الاعتبارات التالية :-

** الغرض الأساسي والثانوي من الحماية : فمثلا قد يكون الغرض الأساسي هو حماية شاطئ معين وفى نفس الوقت قد تكون أعمال الحماية هذه مفيدة في نفس الوقت في حماية منشآت تقع خلف خط الشاطئ أو في الحصول على شاطئ عريض ومتسع كغرض إضافي ثانوي.

** الظواهر الطبيعية السائدة في المنطقة مثل كميات الرمال المتحركة التي تفقد من شاطئ معين ونوعياتها واتجاه حركتها، فإذا كانت في اتجاه موازي للشاطئ فإن الحماية تختلف عنها تماما إذا كانت في اتجاه عمودي على الشاطئ.

** مدى تعرض الشاطئ للأمواج فهو يسهم أيضا في تحديد نوع المنشأ فإذا كانت الأمواج صغيرة كان المنشأ من النوع الخفيف وإذا كانت الأمواج عالية كان المنشأ من النوع (الثقيل) أو الكومي (Rubble Mound).

** التأثيرات العكسية (Side Effects) لأعمال الحماية على المناطق المجاورة ومدى أهمية هذه المناطق. فمثلا الرؤوس وحواجز الأمواج الموازية للشاطئ فبالرغم من أنها تحمى الشاطئ وتقوم بحجز كمية من الرمال المتحركة في اتجاه موازي للشاطئ إلا أنها تسبب نحر وتآكل في الجزء الواقع بعدها (Down Drift Side) و كذلك الحوائط البحرية فبالرغم من أنها تحمى الميول وما هو خلفها ولكنها تسبب ضياع وتآكل الشواطئ الرملية التي أمامها مما قد يؤدى إلى انهيارها ذاتيا.

** نوع التربة المقام عليها منشأ الحماية فإذا كانت التربة ضعيفة فربما يكون من الأنسب إقامة منشأ الحماية على أساسات عميقة ...

** مدى وفرة مواد الإنشاء المتاحة وأنواعها وتكاليف نقلها.

** مدى توافر الاعتمادات المالية اللازمة لتكاليف الإنشاء وتكاليف الصيانة والإصلاح.

أما من حيث تصنيف أنواع منشآت الحماية فهي كثيرة ومتنوعة وتشتمل على الآتي :-

** رؤوس بحرية (Groins) وهى عبارة عن حواجز عمودية على الشاطئ بغرض حجز واصطياد الرمال المتحركة في الاتجاه الموازى للشاطئ.

** حوائط بحرية (Seawalls) وهى منشآت تقاوم قوة الأمواج وهى موازية للشاطئ وقد تكون رأسية أو مائلة والغرض منها حماية المنشآت خلفها.

** تكسيات (Revetments) وهى منشآت لحماية الميول والجسور من الأمواج وتنشأ على الميل نفسه في الأماكن شبه المحمية والتي لا تتعرض لأمواج عالية.

** حواجز الأمواج (Breakwaters) وهى إما عمودية متصلة بالشاطئ في البداية ثم تأخذ آي اتجاه آخر طبقـا لمتطلبات استعمالها وذلك لخلق مناطق هادئة من الأمواج مثل المواني وحمامات السباحة داخل البحر ... وإما أن تكون موازية للشاطئ داخل البحر وتعرف باسم (Detached Breakwater) لحماية الشاطئ من الأمواج ولاصطياد الرمال المتحركة وتكوين ترسيبات داخل البحر بينها وبين الشاطئ وهذه الترسيبات تكون على شكل نتوء من الأرض بارز إلى داخل البحر يعرف باسم الـ(Salient) وعندما يمتد هذا النتوء البارز ليصل بين الحاجز والأرض يعرف باسم الـ(Tombolo).

** التغذية الصناعية بالرمال وهي كثيرة الاستخدام وتكون التغذية إما عن طريق التكريك من داخل البحر أو بالنقل بالسيارات من التلال الرملية (Sand Dunes) الكائنة بالأرض أو من الرمال التي تكون قد ترسبت على إحدى جوانب الحواجز داخل البحر (Jetty) أو بنقل رمال الصحراء إذا توافرت بها الخصائص المناسبة لهذا الغرض.

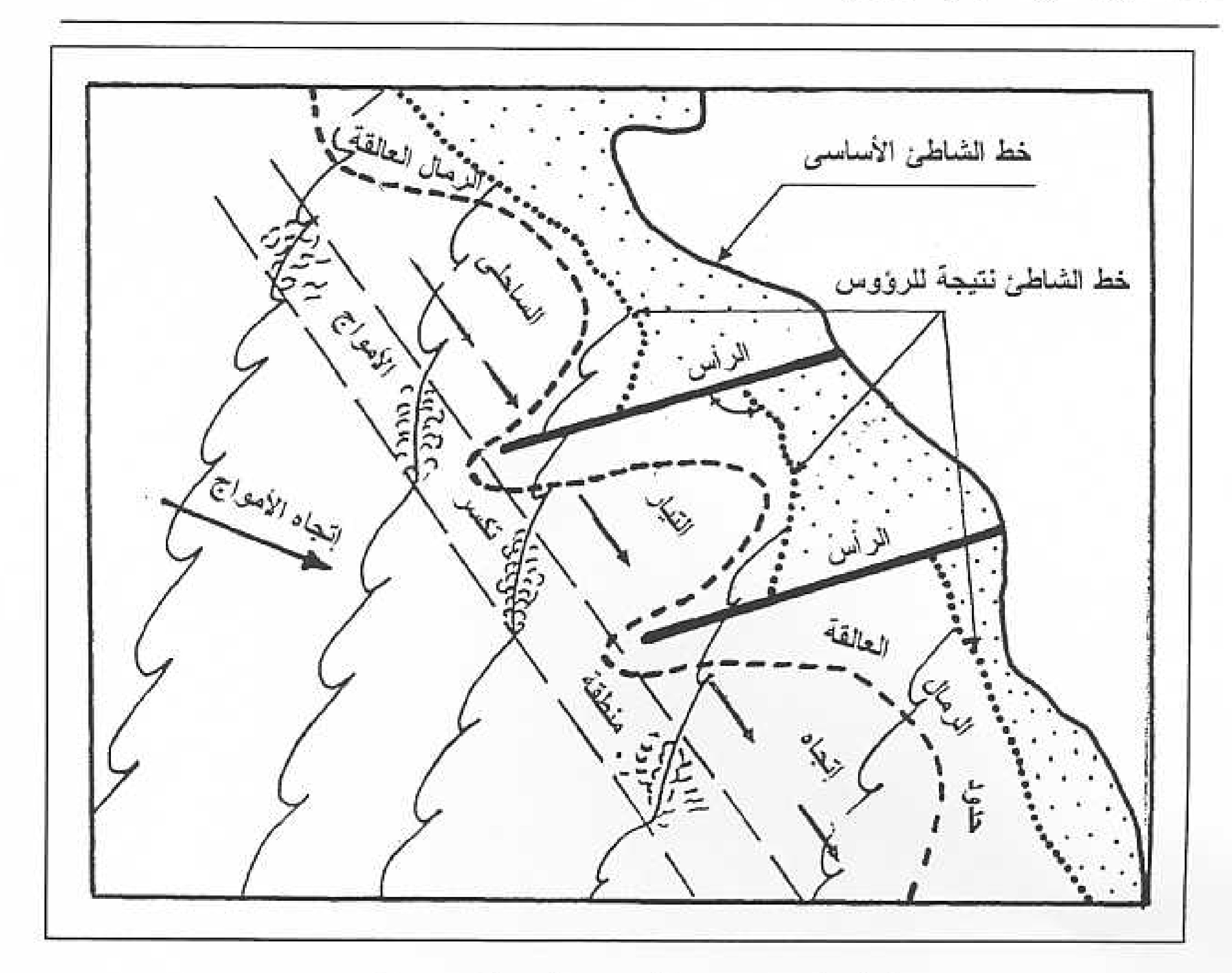
** استنبات منطقة الشاطئ بالنباتات المقاومة للملوحة والظروف المناخية السائدة وذات الجذور المتشعبة والتي تعمل على تماسك رمال الشاطئ.

** تثبيت الكثبان الرملية المتكونة على الشاطئ.

هذا وقد يكون منشأ الحماية عبارة عن أحد الأنواع السابق ذكرها بمفرده أو باستخدام أكثر من نوع من المنشآت السابق ذكرها.

٣-٣-١ الرؤوس البحرية (Groins)

الرؤوس البحرية عبارة عن منشآت ممتدة من الشاطئ إلى داخل البحر وهي تؤثر على التيارات البحرية والأمواج وتعمل على تغيير اتجاهها وذلك بغرض حماية شاطئ معين من النحر وهى تصمم كذلك لبناء الشاطئ أو لتأخير عمليات النحر بحجز الرمال المتحركة على طول الشاطئ وغالبا ما تكون هذه الرؤوس عمودية على اتجاه الشاطئ ويتراوح طولها من حوالي عشرة أمتار إلى مئات من الأمتار طبقا لعرض المنطقة التي تتحرك فيها المواد الرسوبية الموازية للشاطئ بفعل التيارات المتولدة عن تكسر الأمواج الساقطة بزاوية والمعروفة باسم التيار الساحلي (Longshore Current) شكل (٣-١٠) وقد تصل إلى أعماق ما بين ٥ر١ إلى ٠ر٣ متر وفى بعض الأحيان قد تمتد خارج منطقة تكسر الأمواج بغرض إبعاد التيارات المدية (Tidal Currents) عن منطقة معينة وعادة تستخدم مجموعة من تلك الرؤوس (Group of Groins) في الآتي :-



شكل رقم (٣-١٠) الرؤوس البحرية Groins

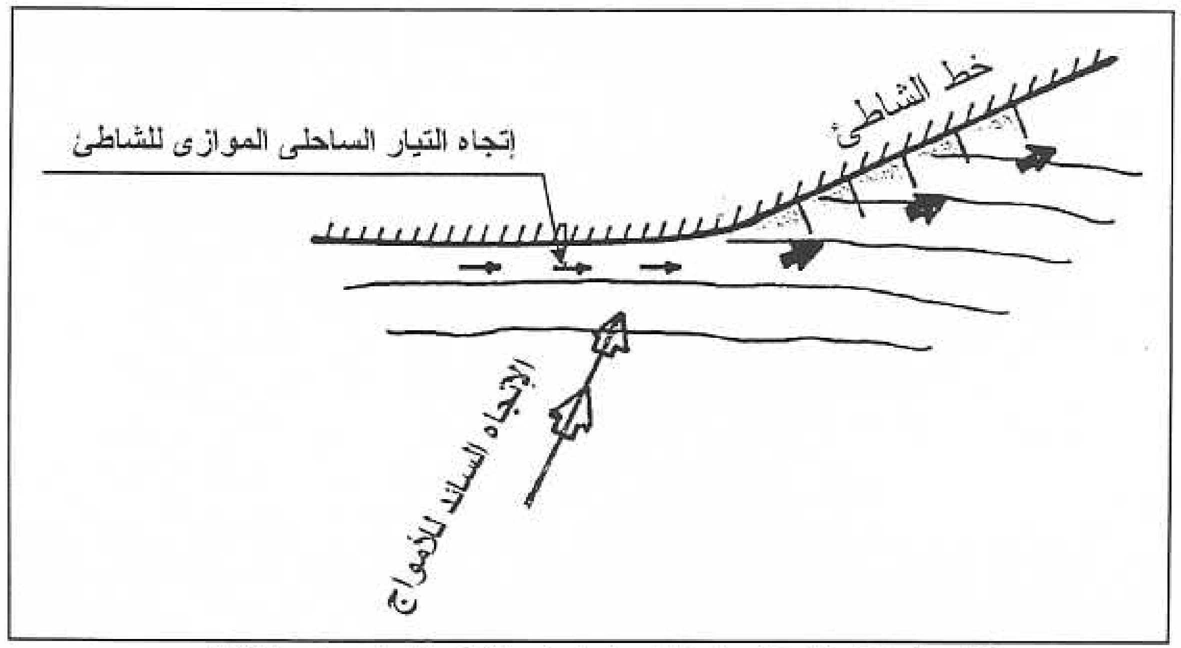
** تقليل كميات المواد الرسوبية في الاتجاه الموازي للشاطئ عن طريق حجزها بين الرؤوس بهدف اتزان الشاطئ وحمايته - شكل رقم (٣-١١) .

** تساعد على حجز رمال التغذية الصناعية على الشاطئ حيث لا توجد موارد طبيعية كافية من الرمال كما هو في المناطق الواقعة على الجانب الآخر من الحواجز المقامة لحماية البواغيز أو المواني (Down Drift of Jetties) شكل رقم (٣-١٢).

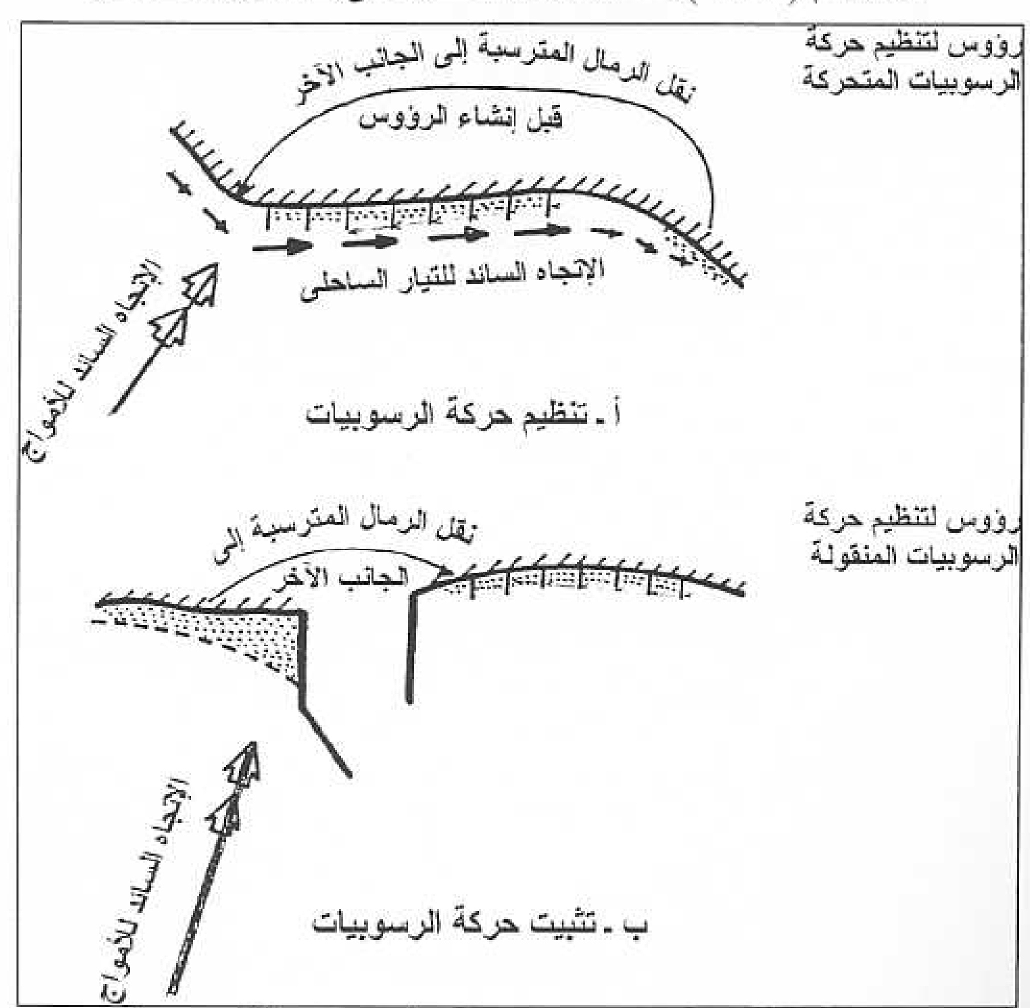
** التحكم في الحركة الموسمية (Seasonal) للرسوبيات الشاطئية الموازية للشاطئ داخل أي خليج شكل رقم (٣-١٣).

** تقليل الفاقد من منطقة معينة بتقسيمها إلى وحدات صغيرة وقصيرة باستعمال مجموعة من الرؤوس والمعروفة باسم نظام الرؤوس (Groin System) شكل رقم (٣-١٤).

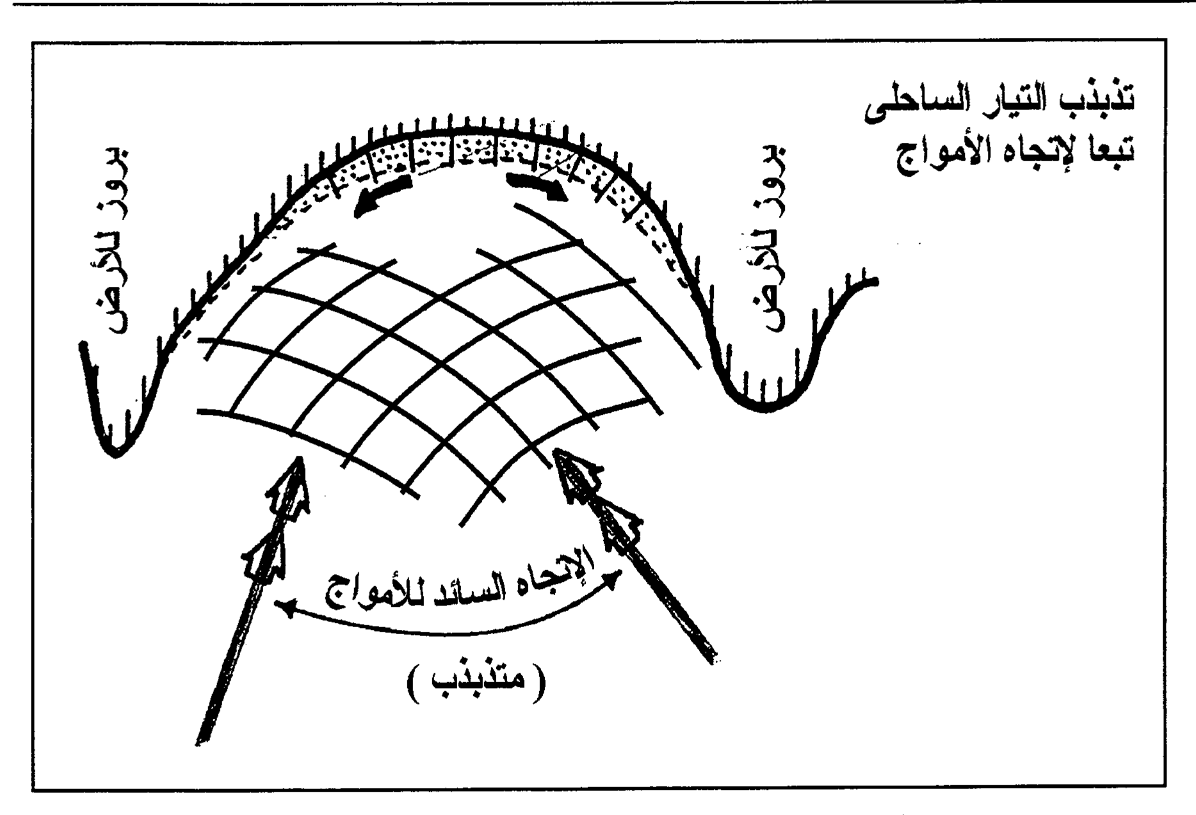
وجدير بالذكر أن الرؤوس المستقيمة العمودية ليس لها أي تأثير على حركة المواد الرسوبية العمودية على الشاطئ (Onshore/Offshore Movement).



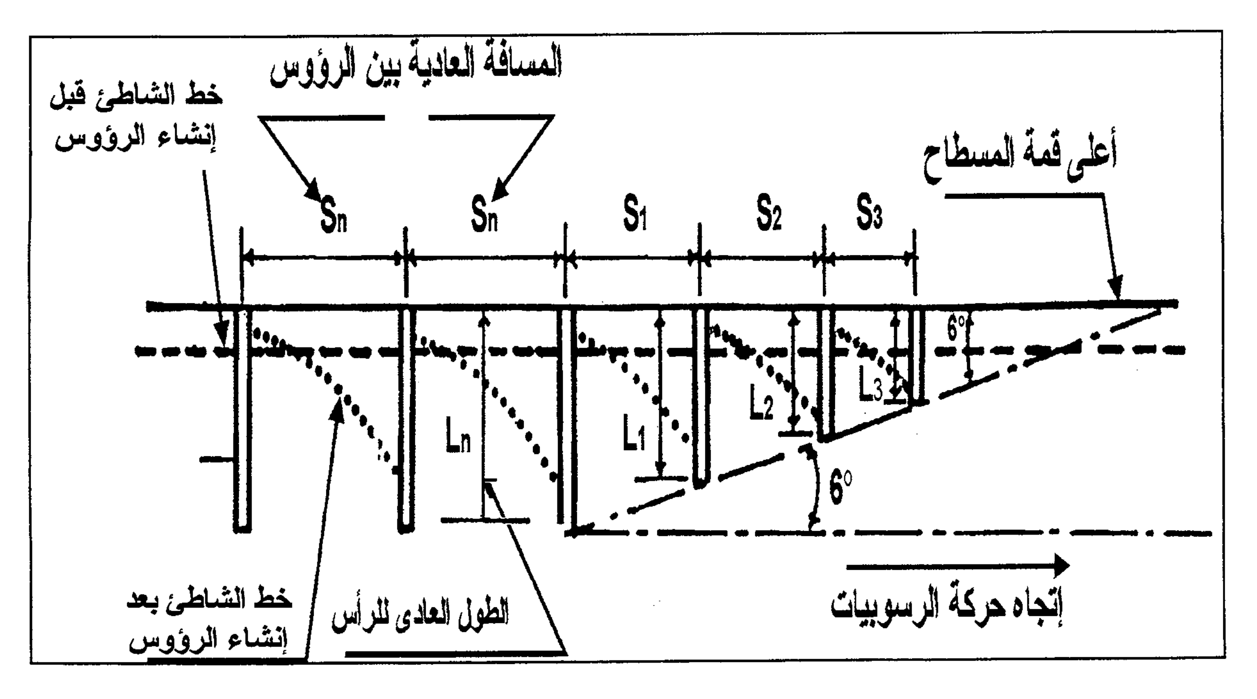
شكل رقم (٣-١١) إصطياد الرمال المتحركة فى إتجاه موازى للشاطئ



شكل رقم (٣-١٢) تثبيت وتنظيم حركة رمال التغذية الصناعية



شكل رقم (٣-١٣) التحكم فى الحركة الموسمية للتيار الساحلى



شكل رقم (٣-١٤) نظام الرؤوس الإنتقالية

٣-٣-١-١ أنواع الرؤوس البحرية

الرؤوس البحرية المستعملة كمنشآت حماية للشواطئ قد تكون مستقيمة (Straight) عمودية على الشاطئ (Perpendicular) أو مائلة (Inclined) أو مستقيمة لها إضافات في نهايتها (جهة البحر) مثل ذيل السمكة أو حرف Y (Y shape or fish tail) أو على شكل L أو T والشكل رقم (٣-١٥) يوضح تلك الأشكال المختلفة والغرض من هذه الإضافات هو تقليل تأثير أو منع تكون التيارات العائدة (Rip current) والتي لها تأثير جانبي سيئ على ترسيبات الرمال المتكونة كما هو موضح بالشكل رقم (٣-١٦). وقد تكون هذه الرؤوس على شكل متعرج (Zigzag) كما هو مبين بالشكل رقم (٣-١٥).
ويمكن تقسيم أنواع الرؤوس المختلفة على النحو التالي:-

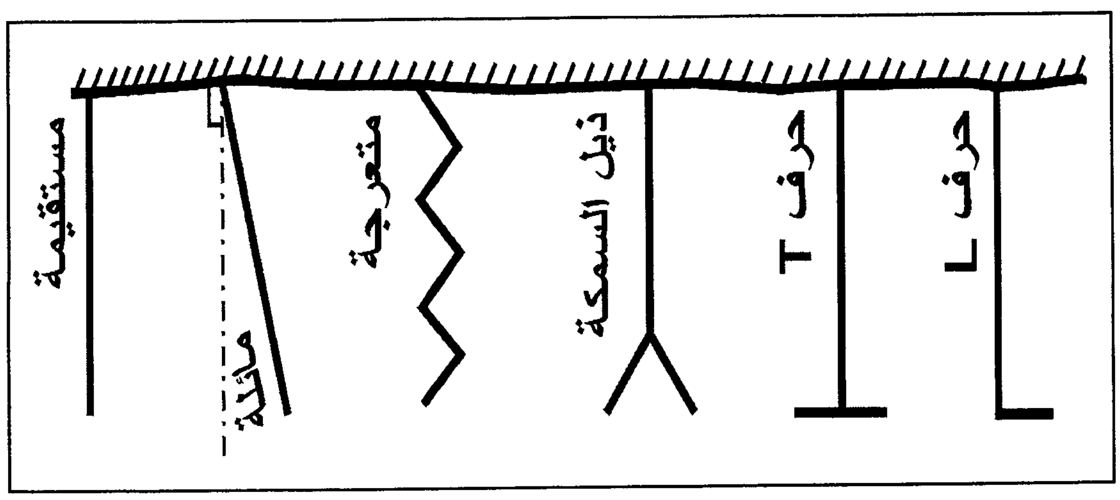
** مواد الإنشاء (Construction Materials): خشبية أو حديدية أو خرسانية.

** مصمتة (غير منفذة) Impermeable أو غير مصمتة (منفذة) Permeable.

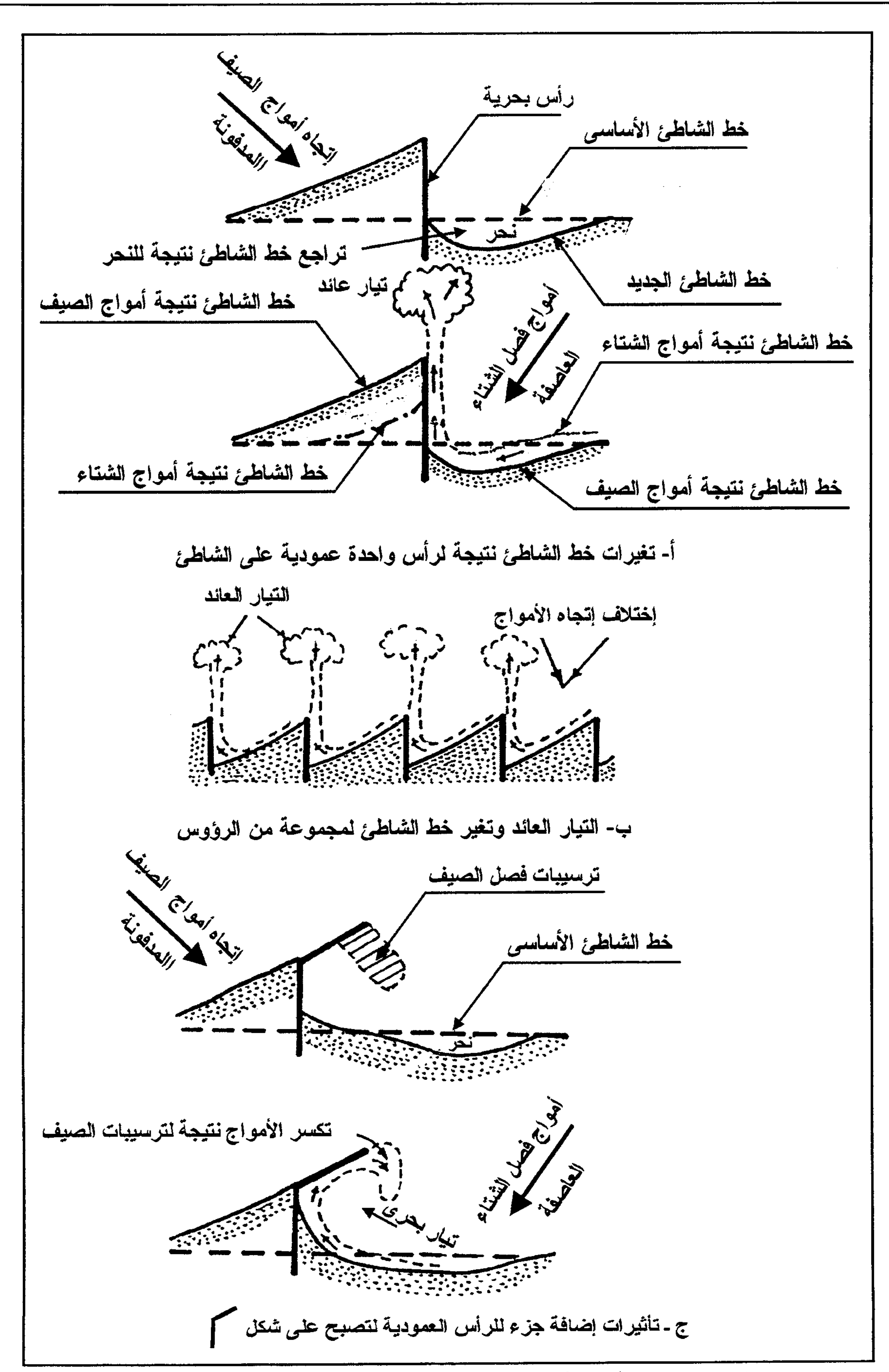
** عالية أو منخفضة High or Low.

** طويلة أو قصيرة Long or Short.

** قابلة للتعديل Adjustable.



شكل رقم (٣-١٥) أنواع الرؤوس المختلفة

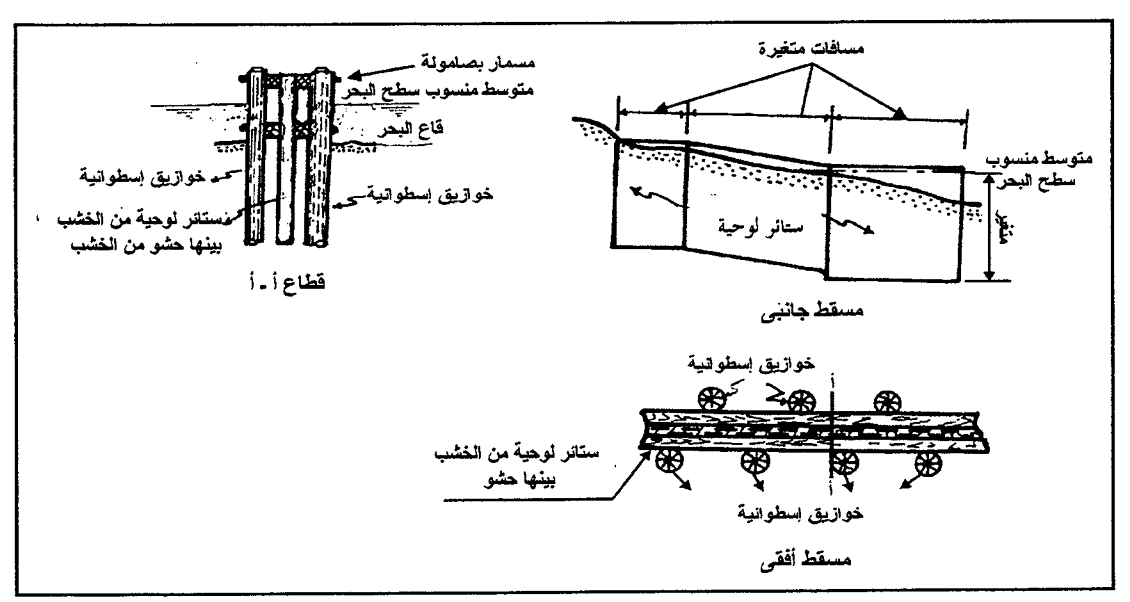


شكل رقم (٣-١٦) تأثير رأس واحدة أو مجموعة رؤوس على رسوبيات الشاطئ

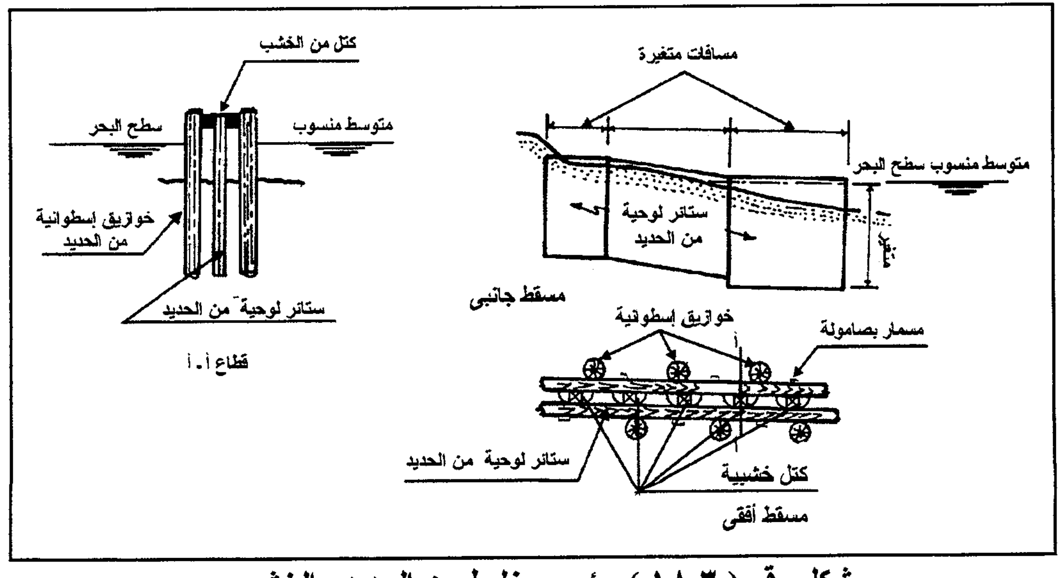
وفيما يلي بعض التفصيلات :-

أ – تصنيف مواد إنشاء الرؤوس :

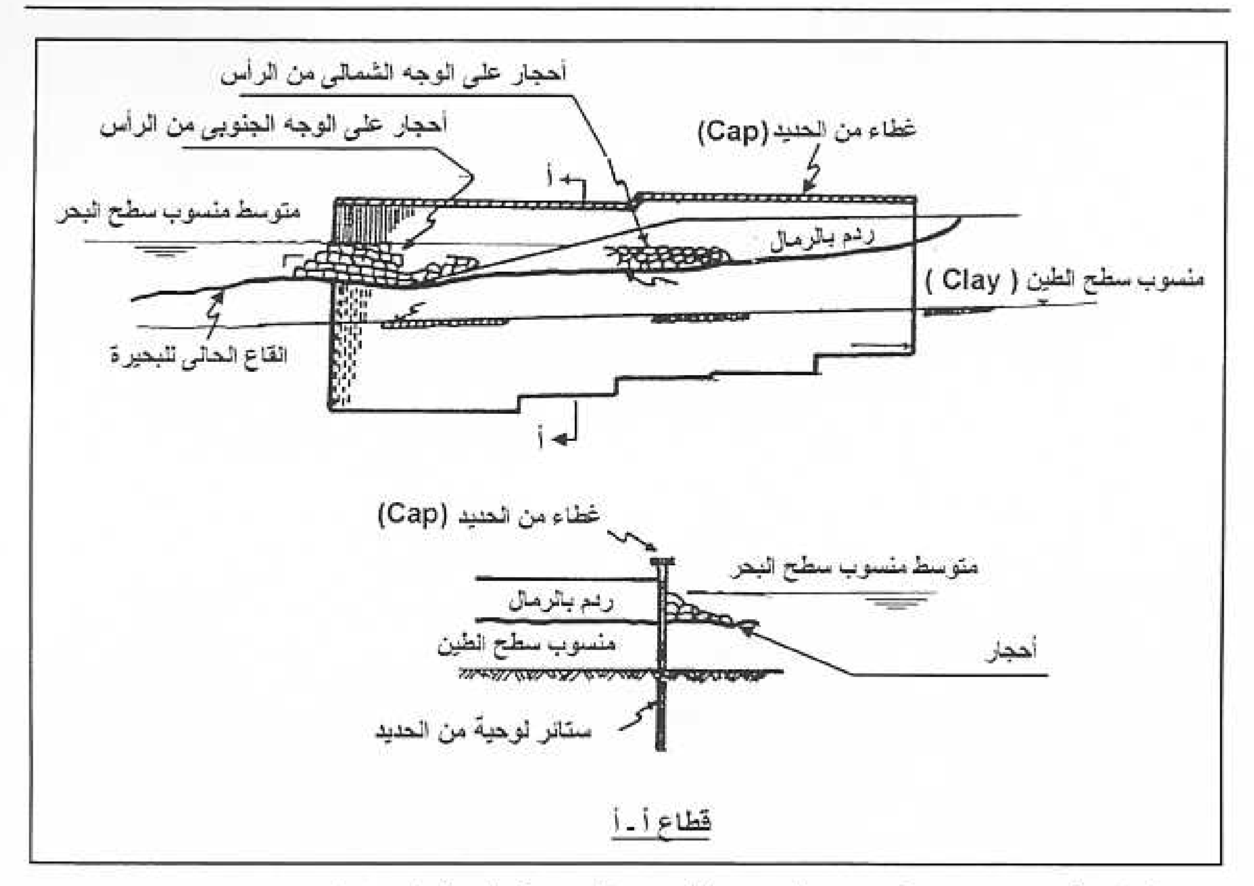
تنشأ الرؤوس عادة من صف أو صفين من الستائر اللوحية Sheet Piles سواء كانت من الخشب أو الحديد ذات سندات جانبية (Lateral Support) مثل الموضحة بالأشكال (٣-١٧) ، (٣-١٨) ، (٣-١٩) أو تكون الرؤوس من خلايا (Cellular) من الخوازيق المملوءة بالخرسانة أو الصخور أو الرمال شكل رقم (٣-٢٠). وفى حالة البحار والمحيطات المكشوفة تنشأ الرؤوس من النوع الركامي (Rubble Mound) شكل رقم (٣-٢١) حتى تتحمل صدمات الأمواج العالية المتكونة في البحر المفتوح وكذلك لتقليل التيارات العائدة (Rip Currents) ويستعمل النوع الركامي مع الرؤوس الخازوقية وخصوصا في الأجزاء التي تنشأ في المياه العميقة حيث الأمواج العالية وكذلك للتغلب على التيارات العائدة وقد تكون الرؤوس من الخرسانة (Concrete Groins) أو الرمال المخلوطة بالإسفلت (Asphalt Groins).



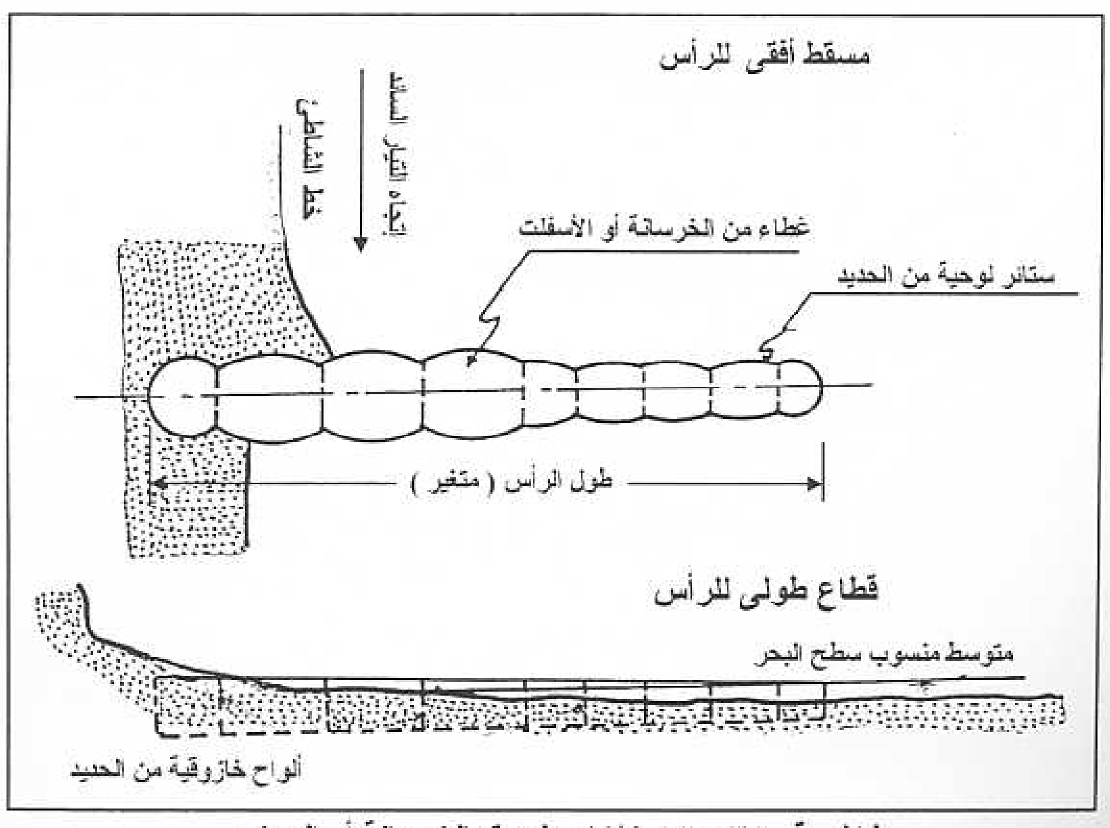
شكل رقم (٣-١٧) رؤوس من الخوازيق الخشبية



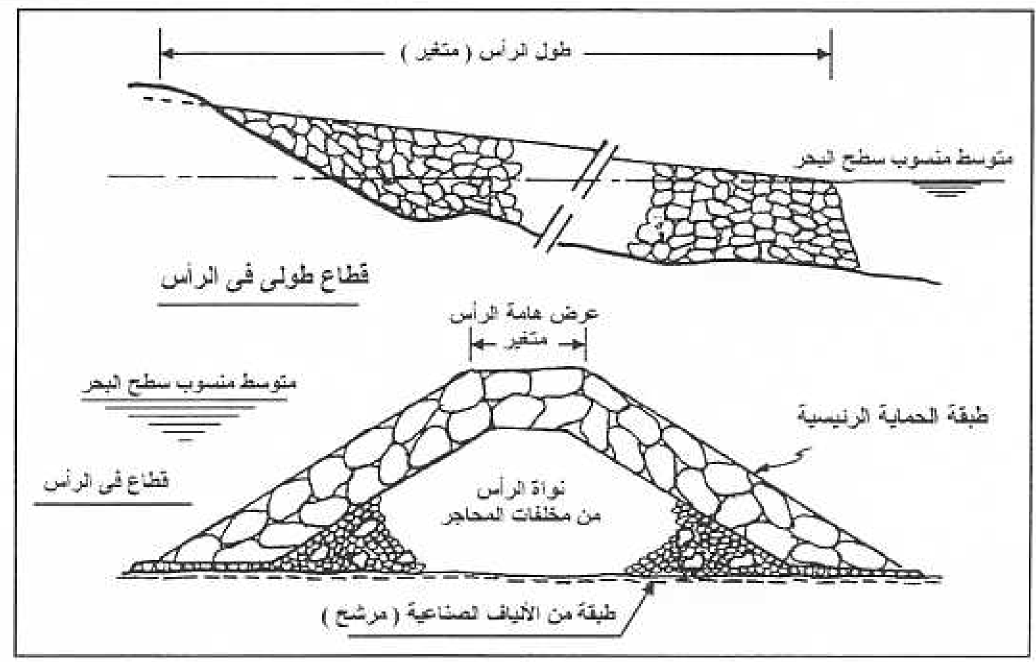
شكل رقم (٣-١٨) رؤوس خليط من الحديد والخشب



شكل رقم (٣-١٩) رأس من الستائر اللوحيه الحديدية على شكل كابولى (Cantilever)



شكل رقم (٣-٢٠) خلايا مملوءة بالخرسانة أو الصخور



شكل رقم (٣-٢١) رأس من النوع الركامى

ب - الرؤوس الغير منفذة (المصمتة) (Impermeable Groins):

حيث يكون جسم الرؤوس مصمتا غير منفذ لا توجد به فراغات ويستعمل هذا النوع من الرؤوس عندما تكون كمية المواد الرسوبية المتحركة موازية للشاطئ صغيرة ويتم الترسيب في جهة واحدة من الرأس بينما يحدث نحر في الجهة الأخرى وكذلك عندما تكون رسوبيات مواد القاع ناعمة (Fine) يمكن نقلها بسهولة.

جـ - الرؤوس المنفذة (Permeable Groins):

وهى رؤوس ذات فراغات في الجسم المكون لها وتعرف باسم "رؤوس الأجور" (Agour Groins) حيث أنها تشبه أعمال التطريز المعروفة بهذا الاسم وتسمح الفراغات المتواجدة بها باستمرار مرور التيارات في نفس اتجاهها ولكن مع تقليل سرعتها الأمر الذي يؤدي إلى ترسيب ما تحمله من مواد رسوبية بكيفية شبه منتظمة على جانبي الرأس ويستعمل هذا النوع من الرؤوس في أعمال حماية الشواطئ الغنية بالرمال المتحركة في اتجاه موازي للشاطئ (Rich longshore drift) ولتوسيع تلك الشواطئ وكذلك لمنع النحر الذي يحدث عادة في الجانب المعروف بـ"أسفل التيار"(Down drift side) ولمنع تعرج الشاطئ الذي يشبه نصل (أسنان) المنشار (Saw-tooth shape) وهذا النوع لا يصلح لاحتجاز رمال التغذية الصناعية (Nourishment) المستعملة في أعمال الحماية ولكنه يستعمل عندما تكون حبيبات مواد القاع من النوع الخشن نوعا ما.

د - الرؤوس العالية والمنخفضة (High and Low Groins):

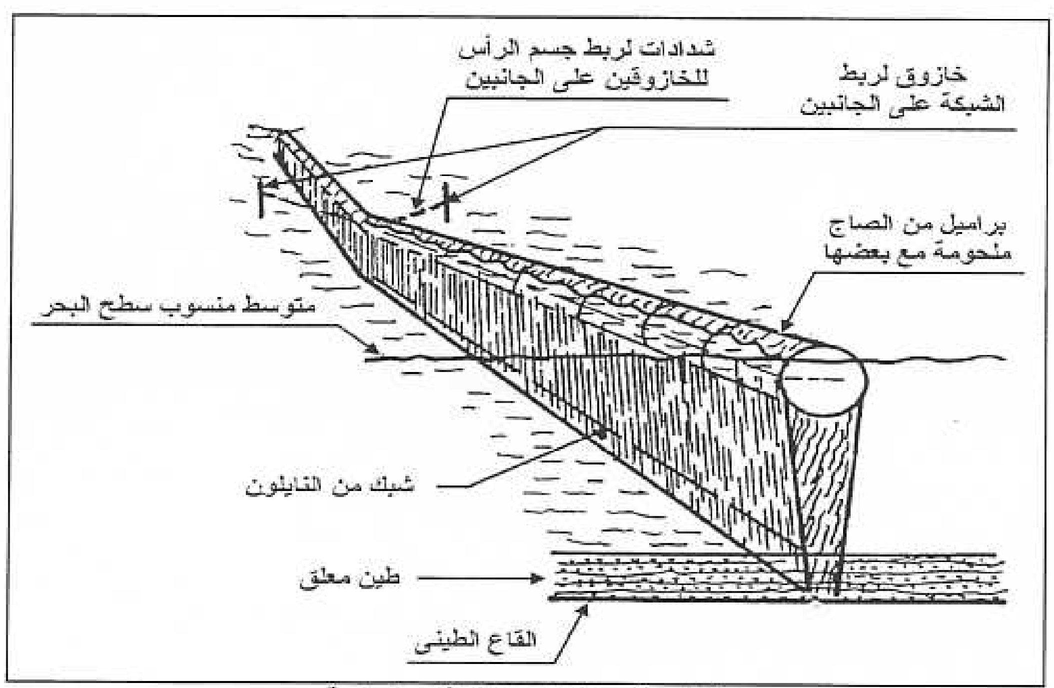
تعتمد كمية الرمال المارة بالرؤوس البحرية على منسوب السطح العلوي لها (Crest level) ففي حالة عدم الرغبة في السماح للمواد الرسوبية بالمرور إلى جانب أسفل التيار (Down drift) يجب أن تكون الرؤوس عالية وترتفع عن أعلى مد في البحر بحيث تمنع مرور التيارات المحملة بالرمال وتجعلها تترسب في الجهة الأمامية منها (Up - Drift side) وتعرف هذه الرؤوس بالرؤوس النهائية أو الطرفية كمجموعة الرؤوس البحرية (Terminal Groins) وفي حالة ضرورة مرور المواد الرسوبية إلى الجانب الآخر للرؤوس فيجب أن تكون قمة الرأس منخفضة وأوطى من منسوب المد بالقدر الذي يسمح بمرور الجزء المطلوب من المواد الرسوبية إلى الجهة الأخرى وتكون لهذه الرؤوس نفس خصائص الرؤوس المنفذة (Permeable Groins).

هـ - الرؤوس القابلة للتعديل Adjustable Groins:

من المعروف أن معظم الرؤوس عبارة عن منشآت ثابتة ودائمة ولكن في بعض الاستخدامات يتطلب الأمر إجراء تعديلات في نظام الرؤوس وذلك بتقليل أو تزويد المسافات بين الرؤوس أو جعلها أدنى أو أعلى من منسوب البحر بالقدر الذي يسمح أو لا يسمح بمرور المواد الرسوبية على التوالي حسب الحاجة وفى هذه الحالة تنشأ الرؤوس من وحدات يسهل إضافتها أو رفعها.

و - الرؤوس العائمة (Floating Groins):

تستخدم هذه الرؤوس عندما يكون قاع البحر مكون من مواد ضعيفة لا تتحمل الأوزان الكبيرة للأحجار والكتل المكونة للرؤوس الركامية وهذا القاع يكون من الطين الوحلي (Mud) والشكل رقم (٣-٢٢) يبين النوع المثالي لهذا النوع من الرؤوس حيث أنه مكون من براميل ملحومة مع بعضها ومغطاة بطبقة من البيتومين والطلاء المانع للصدأ وتملأ إلى حوالي نصفها بالماء حتى تكون مغمورة جزئيا في الماء ثم تثبت في القاع بشبك من النايلون ويثبت بشدادات على الجانبين كما هو موضح بالشكل رقم (٣-٢٢).



شكل رقم (٣-٢٢) الرأس العائمة

٣-١-٣-٢ أسس اختيار الرؤوس

مع مراعاة أن استعمال الرؤوس البحرية في أعمال الحماية يكون عادة في أضيق الحدود فإنه يجب أخذ النقاط التالية في الاعتبار قبل اختيارها :

** وفرة الموارد الطبيعية لمواد الشاطئ (Natural supply) المتحركة في الاتجاه الموازي للشاطئ (Littoral drift) لأنها لازمة لقيام الرؤوس بمهمتها على النحو السليم أي الكميات اللازمة لحماية وزيادة عرض الشاطئ المطلوب.

** في حالة عدم توافر الكميات اللازمة لملأ المسافة بين الرؤوس بدون خلق مشاكل في المنطقة التالية لمنطقة الحماية (Downdrift) فإنه يجب استخدام عملية تغذية صناعية (Nourishment) لهذه المهمة وبالتالي التغلب على نقص الموارد الطبيعية في المناطق التالية للرؤوس ولتقليل الأضرار الجانبية.

** وجود مسافة كافية خلف خط الشاطئ تسمح بدخول نهايات الرؤوس باليابسة حتى يمكن تفادى النحر في منطقة تداخل الرؤوس مع الأرض والتفاف المياه خلفها مما يؤدى إلى انهيارها أو وجود أماكن صلبة طبيعية يتم ربط الرؤوس بها.

** مدى أهمية المسافة الشاطئية الواقعة في المنطقة التالية لمنطقة الرؤوس (Downdrift) والتي من المرجح تعرضها لبعض الأضرار نتيجة لنقص المواد الرسوبية المتحركة على طول الساحل أمامها وهي التي سيتم حجزها بواسطة الرؤوس في منطقة الـ Updrift.

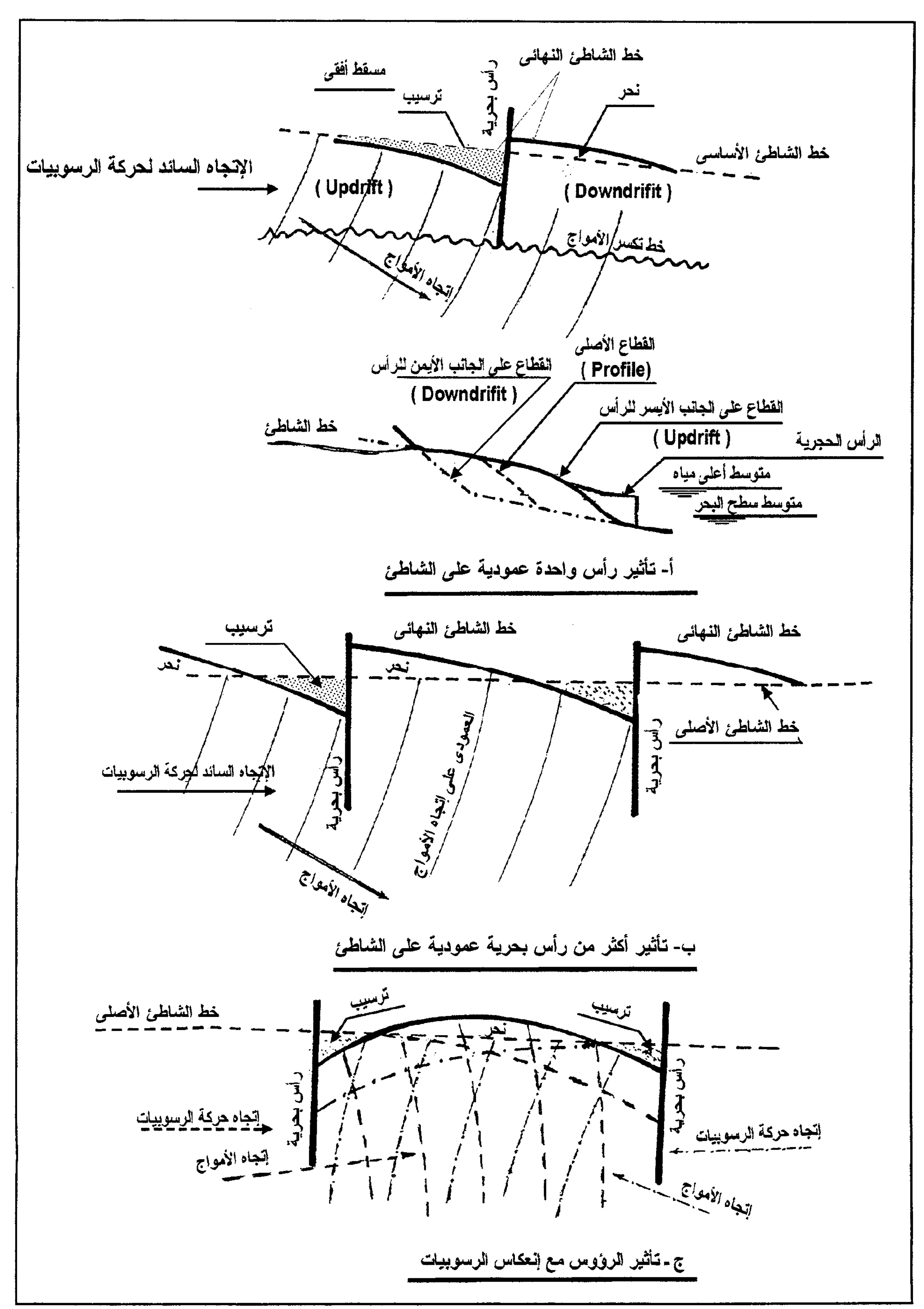
** الجدوى الاقتصادية لاستعمال الرؤوس في حماية الشاطئ المطلوب مقارنة مع التغذية الصناعية بالرمال بمفردها الواردة من خارج الموقع.

** تستخدم الرؤوس عادة في أعمال الحماية عندما يكون المورد الطبيعي (Natural Supply) للمواد الرسوبية المتحركة في اتجاه مواز للشاطئ أقل من قدرة القوى المحركة والحاملة للرمال الشاطئية.

٣-٣-١-٣ تأثير الرؤوس البحرية على المنطقة الشاطئية

من الممكن اعتبار الرؤوس هي بمثابة حواجز أو عوائق (Barrier) للمواد الرسوبية المتحركة في منطقة الشريط الساحلي المحصور بين أبعد نقطة في البحر تصل إليها الرؤوس وأقصى نقطة على الشاطئ يصل إليها اندفاع الأمواج (Uprush)، كما وأن ارتفاع وطول ومسامية (Permeability) هذه الرؤوس تحدد مدى تأثيرها على المواد الرسوبية المتحركة في الاتجاه الموازي للشاطئ ومن ثم فإنه من الممكن تقييم تأثيرها على المنطقة الشاطئية. وقد أثبتت نتائج الدراسات أن تأثير رأس واحدة بمفردها على الشاطئ هو تقريبا يماثل تأثير نفس الرأس في مجموعة من الرؤوس إذا كانت المسافة بينها كبيرة نسبيا في حين أن حجز المواد أمام الرأس المفرد قد يكون أقل منه في حالة نفس الرأس في مجموعة الرؤوس.

والشكل رقم (٣-٢٣) يبين تأثير رأس واحدة وعدة رؤوس ممتدة من أعلى نقطة في المسطاح (Berm) إلى نهاية منطقة التكسر واتجاه الأمواج المهاجمة موضحة بخطوط التعامد (Orthogonal) والتي منها يمكن تحديد اتجاه المواد الرسوبية المتحركة، ونظرا لأن الرأس تمثل سد جزئي (Partial) يعمل على تراكم المواد الرسوبية المتحركة أمامه (Updrift) مما ينتج عنه تقدم خط الشاطئ جهة البحر بينما يؤدى ذلك إلى نقص كميات هذه المواد في المنطقة الواقعة خلفه (Downdrift) مما ينتج عنها تراجع خط الشاطئ كما هو موضح بالشكل رقم (٣-٢٣) الذي يبين تشكل خط الشاطئ، كما تتسبب هذه العملية في زيادة انحدار الشاطئ في الأمام وانبساطه في الخلف، وبتوالي عمليات الترسيب وغسل المواد الناعمة بفعل الأمواج فإنه عندما يصل الانحدار التراكمي (Accreted slope) إلى الانحدار النهائي للجزء الخشن من المواد المتاحة في المنطقة فإن عملية الترسيب سوف تتوقف وبالتالي سوف تسمح الرؤوس بمرور جميع المواد الرسوبية المتحركة (Littoral drift) ، وفى حالة الرؤوس العالية جدا والتي لا تسمح بمرور المواد الرسوبية من فوقها فإن حركة المواد تكون في الأعماق الموجودة فيما بعد نهاية الرؤوس في البحر، ونظرا لطبيعة تيارات الحمل فإن المواد في المنطقة الانتقالية تنحرف بعيداً عن الشاطئ نتيجة مرورها على نهاية الرؤوس ثم تعود إلى طبيعتها بعد مسافة في الجهة الخلفية للرؤوس (Downdrift side) وهذا يؤدى إلى النحر في هذه الجهة وغالبا ما تكون مساحة شريحة الترسيب أمام الرؤوس مساوية لمساحة شريحة النحر خلفها هذا وينتج عن شريحة الترسيب أمام الرؤوس ترحيل لخط الشاطئ جهة البحر وتتوقف كمية الترسيب على الانحدار والتخطيط المتزن لشريحة الترسيب والتي تعتمد على طبيعة المواد المتحركة واتجاه الأمواج والتيارات، ويمكن تقليل النحر الحادث في الجهة الخلفية للرؤوس Downdrift باستعمال ما يسمى بنظام الرؤوس الانتقالية (Transition Groin System) كما هو موضح بالشكل رقم (٣-١٤).



شكل رقم (٣-٢٣) تأثير الرؤوس البحرية على المنطقة الشاطئية

٣-٣-١-٤ تخطيط الرؤوس البحرية

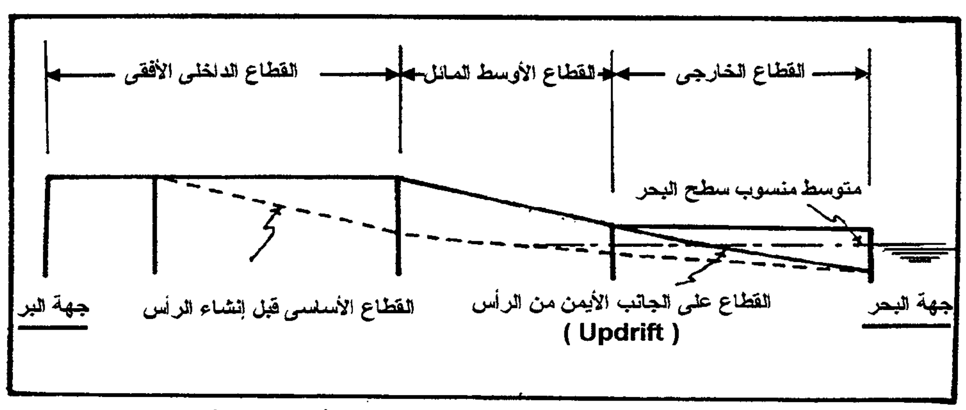
٣-٣-١-٤-١ مجموعة الرؤوس الرئيسية

لقد أثبتت جميع التجارب والبيانات الحقلية أن مجموعة الرؤوس الرئيسية المستقيمة (Straight) والعمودية (Perpendicular) على خط الشاطئ والتي تمتد من أعلى نقطه على المسطاح يصل إليها اندفاع الأمواج هي أفضل من ناحية التأثير على خط الشاطئ وأرخص وأسهل في التنفيذ عن الرؤوس المائلة بزاوية على خط الشاطئ وهي أفضل أيضا من تلك التي تنتهي ببعض التشكيلات تماثل الحرف L أو ⊥ وغيرها من الأشكال المبينة في شكل رقم (٣-١٥).

لإمكان تخطيط الرؤوس فإنه يلزمنا تحديد طول وارتفاع الرأس وكذلك المسافة بين كل رأس والأخرى. وفيما يلي بعض التفصيلات التي توضح تحديد كل منها:-

**** ارتفاع الرؤوس (Height of Groins):**

يعتمد ارتفاع الرأس على مدى الرغبة في تمرير الرمال فوقها لتغذية منطقة الشاطئ خلفها (Down-drift area) من عدمه ، ونظرا لأن ارتفاع الرأس غير ثابت فإنه يمكن تقسيم الرأس إلى القطاعات التالية شكل رقم (٣-٢٤) :-



شكل رقم (٣-٢٤) قطاع طولى يوضح تفاصيل أجزاء الرأس البحرية

(*) قطاع الشاطئ الأفقي :

ويمتد هذا القطاع إلى داخل الأرض بمسافة كافية تمنع التفاف المياه من خلفه ويكون أقل ارتفاع لهذا الجزء هو ارتفاع مسطاح القطاع الهيدروجرافي (Hydrographic Profile Berm) بينما يكون أقصى ارتفاع له مساويا لأقصى ارتفاع لمنسوب المياه مضافا إليه أقصى ارتفاع ناشئ عن اندفاع الأمواج (Uprush) خلال موسم العواصف وهذا الجزء عادة أما أن يكون أفقي أو مائل ميل خفيف جهة البحر وموازى للقطاع الهيدروجرافي للشاطئ في هذا الجزء.

(*) القطاع الأوسط المائل : يصل هذا الجزء من الرأس بين قطاع الشاطئ الأفقي والقطاع الخارجي في البحر ويكون عادة بميل مواز لقطاع الشاطئ المطلوب الوصول إليه بعد إنشاء الرأس.

(*) القطاع الخارجي للرأس : وهو الجزء الممتد خارج القطاع الأوسط المائل في البحر ويكون عادة أفقيا وأعلى من منسوب القطاع الهيدروجرافي المتكون في الجهة الأمامية من الرأس Updrift كما أن طوله يعتمد على الميل التصميمي للشاطئ الواقع أمام الرأس.

** **الرؤوس المنخفضة التي تتبع قطاع الشاطئ الموجود (Existing Beach Profile)** : تساعد على استقرار رمال الشاطئ ولكنها تحتجز قليلا من الرمال المتحركة في الاتجاه الموازي للشاطئ بينما تعمل الرؤوس العالية (أعلى من قطاع الشاطئ ببضعة أمتار) كحاجز كامل للمواد الرسوبية المتحركة. هذا وتعرف الرؤوس الطويلة والعالية التي لا تسمح بمرور الرمال باسم الرؤوس النهائية أو الطرفية (Terminal) وتستخدم عادة لمنع الرمال التي تترسب في مناطق الحماية من العبور إلى الجهة الخلفية (Downdrift) مثل حالة الرؤوس على جانبي القنوات الملاحية لمنع الترسيب داخلها.

** **طول الرأس Length of Groin:-**
يحدد طول الرأس بجمع أطوال الأجزاء الثلاث السابق الإشارة إليهم بعاليه ويجب أن يكون طول الرأس كاف لتكوين الشاطئ المطلوب وإذا كانت الرأس مستعملة في حماية التغذية الصناعية بالرمال فإن نهاية الجزء الخارجي منها يجب أن يكون في نقطة تقاطع الميل التصميمي للشاطئ مع ميل القاع الحالي.

ونظرا لأن معظم الرمال المطلوب ترسيبها تقع في منطقة تكسر الأمواج فإن الرؤوس يجب أن تمتد إلى نهاية هذه المنطقة حيث أن الرمال عند نهاية الرأس سوف تجرف (to be forced) بعيدا إلى داخل البحر قبل عودتها مرة أخرى إلى المنطقة خلف الرأس (Downdrift) وفى بعض الأحيان تكون الرؤوس قصيرة لترسيب كمية صغيرة من الرمال لتقليل التأثيرات الجانبية لها في منطقة الـ (Downdrift).

وفى بداية الرأس عند التحامها بالأرض يجب أن تكون مسافة الالتحام كافية لمنع حدوث نحر والتفاف للمياه حول بداية الرأس وفى هذه الحالة تمد الرأس إلى أن تصل إلى أرض صلبة أو يعمل لها لحام (Anchor) مع التكوينات الموجودة.

** **المسافة بين الرؤوس (Spacing):-**
أنه من الصعب تعيين المسافة بين الرؤوس لأنها تكون دالة في طول الرأس وارتفاع الأمواج واتجاهها والشكل النهائي المطلوب للشاطئ. فإذا كانت المسافة كبيرة فإنه سوف يحدث نحر بينها وإذا كانت صغيرة فإنها لن تعمل بكفاءة في ترسيب الرمال بينهما وكقاعدة عامة تقريبية فإن المسافة بين الرؤوس يمكن فرضها لتكون مساوية لضعف أو ثلاثة أمثال طول الرأس على أن يكون هذا بمثابة تقدير مبدئي يجب تحقيقه بالنماذج الرياضية أو الطبيعية.

٣-٣-١-٤-٢ نظام الرؤوس الانتقالية (Transition System)

هي مجموعة من الرؤوس المتدرجة في الطول وفى المسافة بينها وتوضع في منطقة الـ (Downdrift) لمجموعة الرؤوس العادية شكل رقم (٣-١٤) لتقليل النحر الناشئ من مجموعة الرؤوس العادية وقد وجد أن تخطيط هذه الرؤوس يمكن الحصول عليه من المعادلات التالية :-

$$L_1 = [(1-(R/2)\tan 6°) / (1+(R/2)\tan 6°)]\, L_n \quad (3\text{-}78)$$

$$S_1 = [R / (1 + (R/2)\tan 6°)]\, L_n \quad (3\text{-}79)$$

Where

L_1 = Length of the first shortened groin
L_n = Length of the normal groin
R = Space to length ratio.

٣-٣-٢ حواجز الأمواج (Breakwaters)

حواجز الأمواج عبارة عن منشآت لحماية ميناء أو حوض من هجمات الأمواج وكذلك لخلق مساحات هادئة تستعمل لرسو وربط البواخر داخل المواني أو لاستعمالها في الأغراض السياحية مثل السباحة ، وكذلك تستخدم حواجز الأمواج لحماية جزء من الشاطئ الواقع خلفها أو لحماية مدخل بوغاز أو ميناء من تيارات الجرف الموازية للشاطئ (Longshore Current) وفى هذه الحالة تستعمل كمصايد للرمال أو لأداء أكثر من غرض.

٣-٣-٢-١ أنواع حواجز الأمواج (Types of Breakwaters)

تنقسم أنواع حواجز الأمواج إلى أنواع شتّى كما يلي، فمن حيث التقائها وربطها بالأرض من عدمه :-

٣-٣-٢-١-١ حواجز متصلة بالأرض (Shore - Connected Breakwaters)

تنشأ هذه الحواجز بغرض خلق مساحة مائية هادئة لإقامة ميناء أو لأغراض السباحة الآمنة شكل رقم (٣-٢٥) ذلك لأنها تحميها من تأثير الأمواج حتى تكون السفن المتواجدة داخلها في مأمن من الأمواج وخصوصا أثناء رسوها للشحن أو التفريغ في الحالة الأولى ولحماية الذين يقومون بالسباحة من التيارات والأمواج في الحالة الثانية.

٣-٣-٢-١-٢ حواجز أمواج غير متصلة بالشاطئ (Detached Breakwaters)

تكون عادة موازية للشاطئ شكل رقم (٣-٢٦) وتنشأ في أعماق مياه تتراوح من ٥ر١ إلى ٨ مترا طبقاً لميول المناطق الشاطئية لتقليل طاقة الأمواج التي تهاجم الشاطئ المطلوب حمايته أو المحافظة على اتزانه وكذلك لمساعدة الرواسب الطبيعية أو التغذية الصناعية على بناء شواطئ جديدة وقد تنشأ هذه الحواجز لحماية مدخل المواني الطبيعية أو مصبات الأنهار أو القنوات الملاحية من الترسيب داخلها والذي يؤدى إلى إعاقة الغرض الذي من أجله تم إقامة تلك المنشآت شكل رقم (٣-٢٧) وهذه الحواجز قد تكون قريبة من الشاطئ أو بعيدة عنه كما أنه يمكن أن تكون مرتفعة فوق سطح البحر أو غاطسه تحت الماء أو تستعمل كرؤوس صناعية على النحو التالي :-

٣-٣-٢-١-٣ الحواجز المرتفعة (High Crested Breakwaters)

وهى عادة ما يكون منسوب هامتها (Crest) أعلى من متوسط منسوب سطح البحر وتكون مهمتها تقليل طاقة الأمواج خلفها أي بينها وبين الشاطئ وذلك لأن الأمواج الناتجة عن الانتشار حول نهاية هذه الحواجز (Diffraction) تكون صغيرة ومن ثم تقل طاقتها لحمل المواد الرسوبية حتى تجعلها تترسب في المنطقة المشار إليها.

٣-٣-٢-١-٤ الحواجز الغاطسة (Submerged Breakwaters)

يكون منسوب هامتها منخفضاً عن متوسط منسوب سطح البحر شكل رقم (٣-٢٦أ) ومهمتها هي اعتراض المواد الرسوبية المتحركة في الاتجاه العمودي العائد من الشاطئ إلى البحر (Offshore) التي تنتج عن أمواج العواصف (Storm) أو في الاتجاه من البحر إلى الشاطئ (Onshore) في حالة الأمواج التي تبنى الشاطئ (Swells) عقب موسم العواصف وبذلك تولد هذه الحواجز منطقة عدم اتصال (Discontinuity) في الاتجاه العمودي فضلا عن دورها في تعويق الرسوبيات المتحركة في الاتجاه الموازي للشاطئ. وكذلك تقوم الحواجز الغاطسة إما بتكسير الأمواج فوقها أو بالقرب منها مما ينتج عنه أمواج انتقالية أقل قوة خلفها. وقد يوضع على جانبي هذه الحواجز منشآت جانبية

(Shore Return Structures) تكون مهمتها هي تكوين صندوق لحجز الرمال داخله ومنعها من الفقد داخل البحر وذلك للمحافظة على بناء الشواطئ أو زيادة عرض تلك الشواطئ.

وحواجز الأمواج الموازية للشاطئ عادة تكون من أحد الأنواع التالية :-

٣-٣-٢-١-٥ حاجز أمواج منفرد (Single Breakwater)

يستعمل هذا الحاجز لحماية جزء محدود من شاطئ معين وتتأثر مناطق الـ (Updrift) وكذلك الـ (Downdrift) نتيجة لتكوين الـ (Tombolo) ولتصميم هذا الحاجز يجب تحديد طوله وبعده عن خط الشاطئ ومنسوب هامته وهذه الأبعاد هي التي تحدد تكوين الـ Tombolo من عدمه شكل رقم (٣-٢٨).

٣-٣-٢-١-٦ حواجز أمواج متعددة Segmented or Multiple B.W.

تنشأ عادة لحماية منطقة كبيرة من الشاطئ وإذا صممت تصميما جيدا فإنها تسمح بمرور جزء من الرمال المتحركة في الاتجاه الموازى للشاطئ وبذلك يقلل حدوث النحر في الـ (Downdrift) ولتصميم مجموعة الحواجز هذه يجب تحديد طول الحاجز الواحد وبعده عن خط الشاطئ والفتحة بين كل حاجزين وكذلك منسوب هامته شكل رقم (٣-٢٩).

٣-٣-٢-١-٧ الحواجز كرؤوس صناعية (Artificial Headland Breakwater)

تستعمل الحواجز كرؤوس صناعية تخلق امتداد أرضى داخل البحر على شكل خلجان بحرية كما هو موضح بالشكل رقم (٣-٣٠) وفى هذه الحالة تصمم الحواجز لتكوين الـ Tombolo.

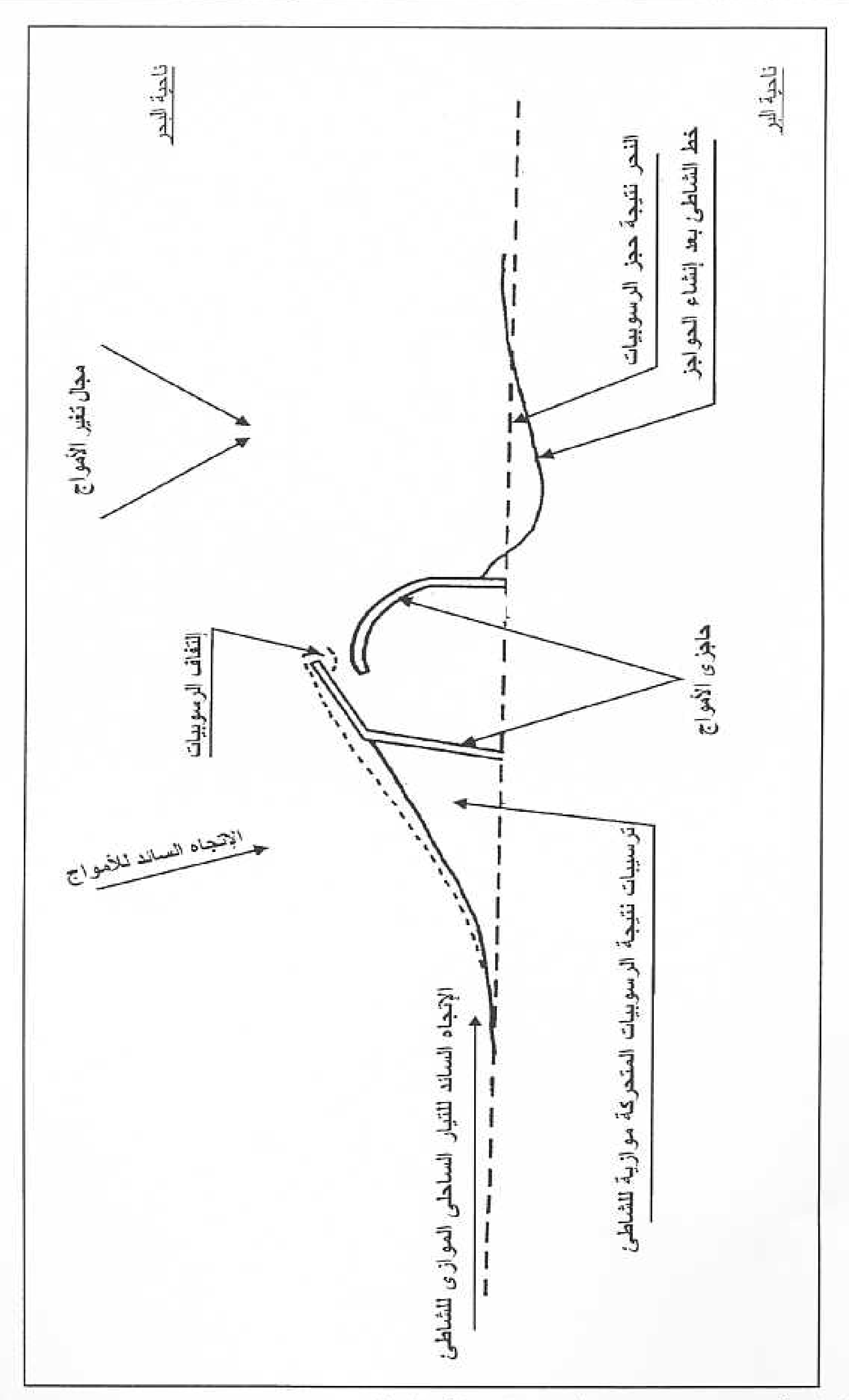
٣-٣-٢-٢ تخطيط حواجز الأمواج

٣-٣-٢-٢-١ حواجز الأمواج المتصلة بالشاطئ

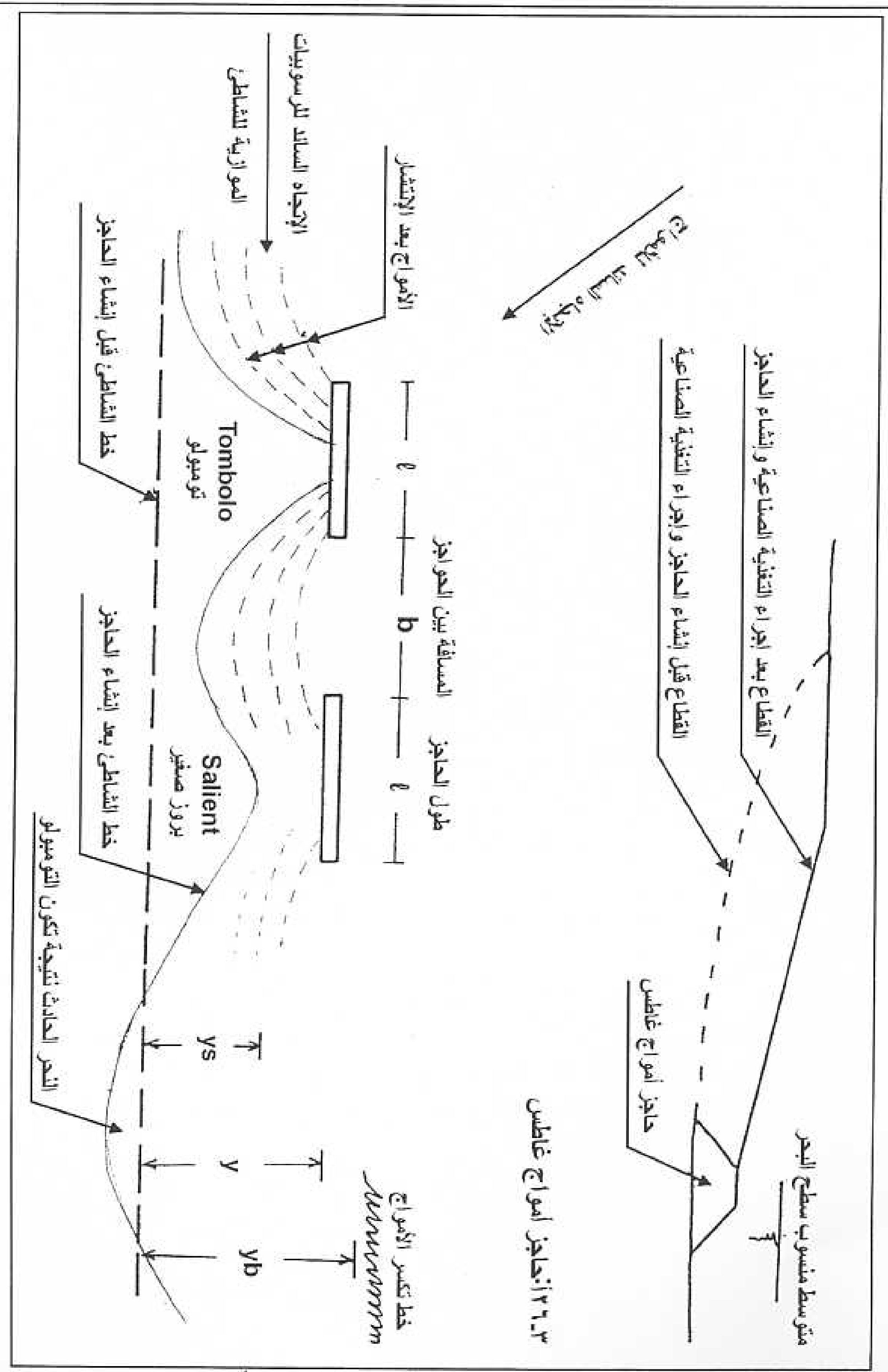
يتوقف طول واتجاه هذا النوع من حواجز الأمواج على المساحة المطلوب حمايتها وحركة المواد الرسوبية السائدة في هذه المنطقة وطبيعة مواد القاع والعمق المطلوب للميناء المقترح أو حمام السباحة وكذلك مواد الإنشاء المتاحة ويكون اتجاه الحواجز بحيث يجعل المنطقة المراد حمايتها تتعرض لأقل تأثير للأمواج والعواصف على مدار السنة ويتم ذلك عن طريق رسم وحساب منحنيات الانكسار Refraction ومنحنيات الانتشار Diffraction.

٣-٣-٢-٢-٢ حواجز الأمواج الموازية للشاطئ

أن العلاقة بين طول الحاجز (ℓ) وبعده عن خط الشاطئ (y) وكذلك المسافة بين أي حاجزين (b) تلعب دورا كبيرا في تخطيط هذا النوع من الحواجز وفيما يلي موجز لبعض العلاقات المساعدة لأعمال التخطيط (انظر الشكل رقم (٣-٢٦) لتوضيح كافة الرموز) :

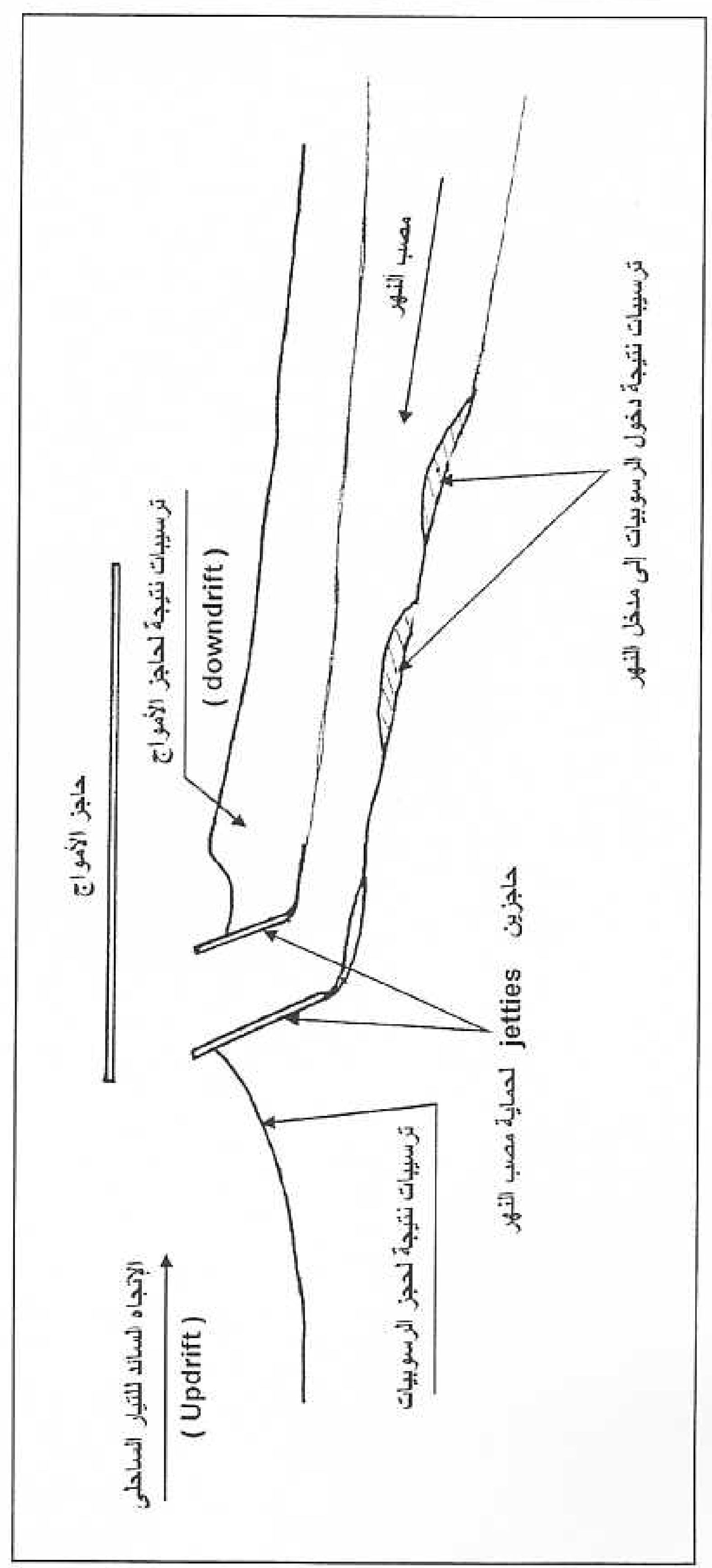


شكل رقم (٣-٢٥) حواجز الأمواج المتصلة بالشاطئ Shore Connected Breakwater

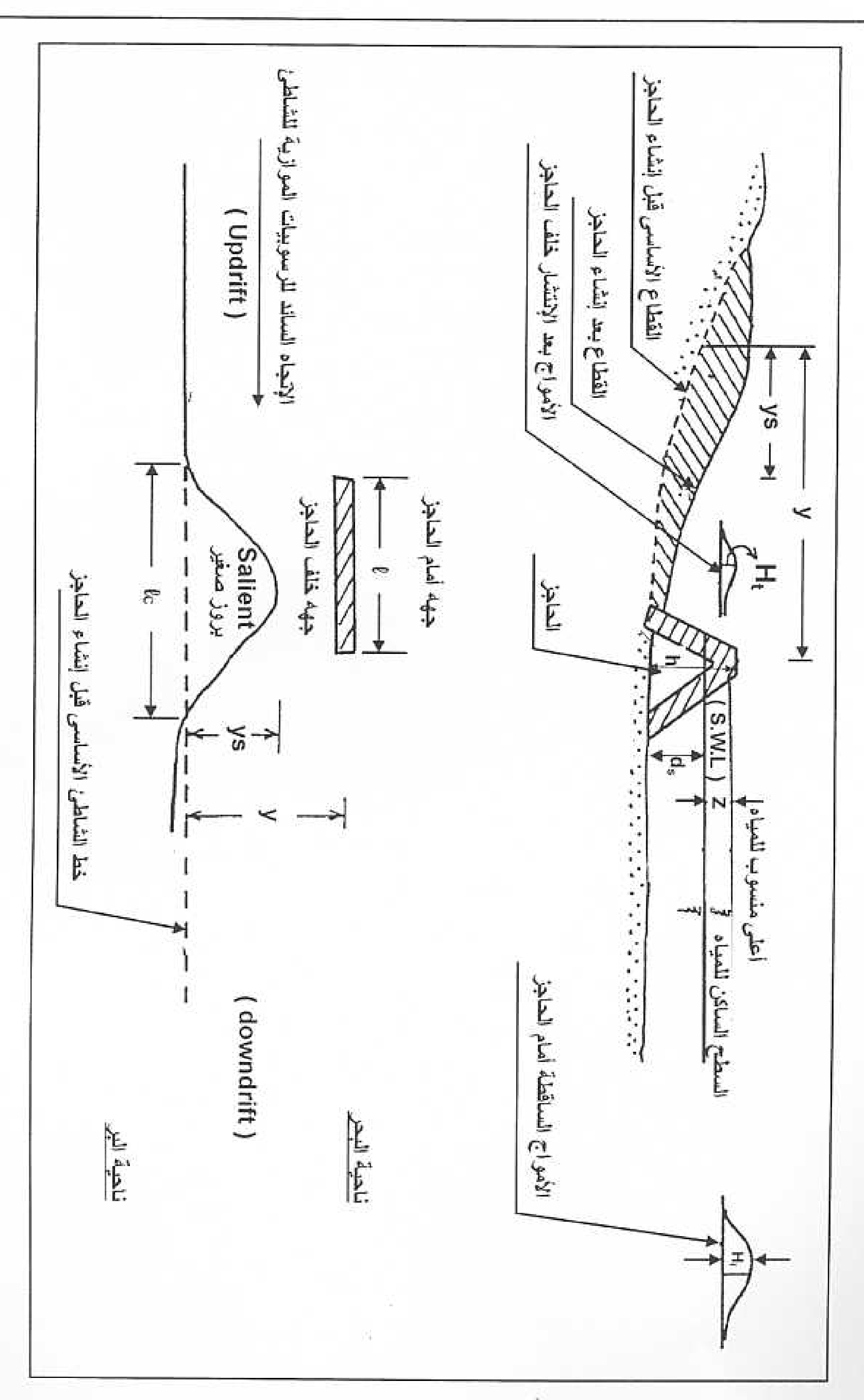


شكل رقم (٣-٢٦) حواجز الأمواج المتعددة الموازية للشاطئ

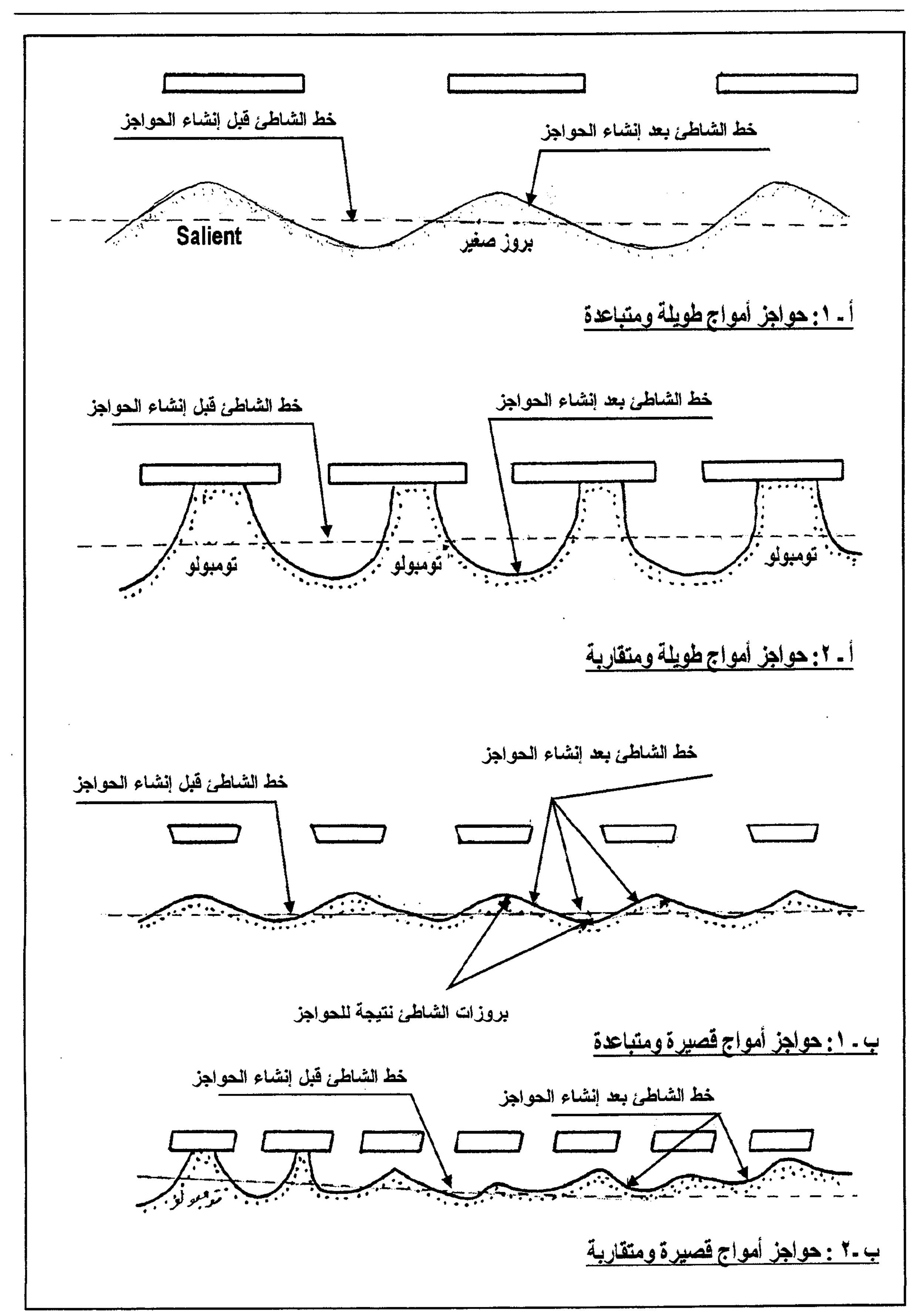
Detached, Offshore or Nearshore Breakwater



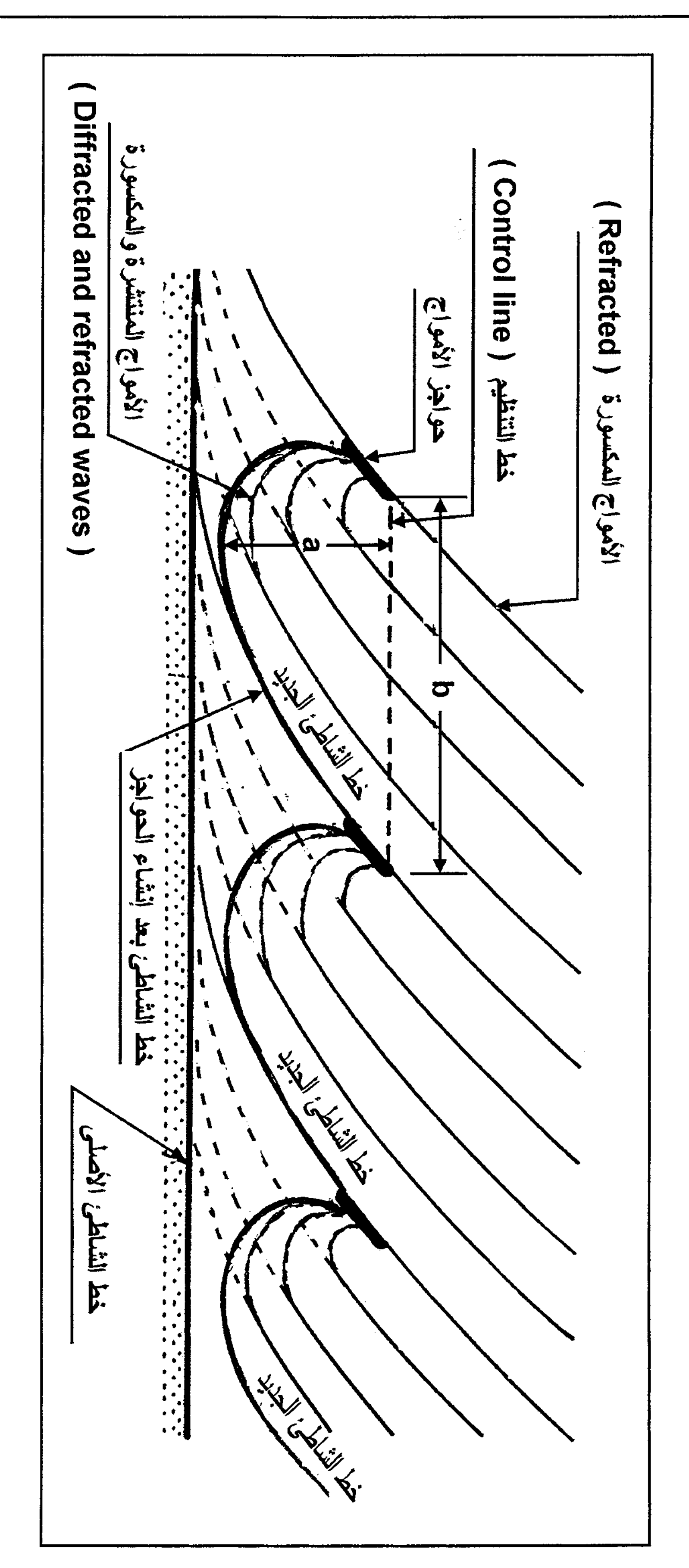
شكل رقم (٣-٢٧) حاجز أمواج موازى للشاطئ لحماية مصب النهر ولتقليل النحر فى منطقة الـ(Downdrift)



شكل رقم (٣-٢٨) حاجز أمواج منفرد **Single Offshare Breakwater**



شكل رقم (٣-٢٩) تأثير أطوال الحواجز والمسافات بينها وبعدها عن خط الشاطئ على نوع الرسوبيات الحادثة



شكل رقم (٣-٣٠) تكوين خط الشاطئ على شكل خلجان نتيجة وضع حواجز الأمواج

٣-٣-٢-٢-٢ (أ)

إن العديد من الباحثين قد قاموا ببحث هذا الموضوع وبنشر بعض الشروط بين طول الحاجز وبعده عن خط الشاطئ والمسافة بين الحاجزين وذلك :

- **لتكوين Tombolo على النحو التالي :**

$\ell / y > 2.0$	Shore Protection Manual 1984
$\ell / y > 2b/\ell$	For Multiple Breakwater; Suh and Dalrymple (1987)
$\ell / y > 1.0$	For Single Breakwater

- **ولتكوين Salient على النحو التالي :**

$\ell / y < 1.0$	For Single Breakwater Suh and Dalrymple (1987)
$\ell / y < 2b/\ell$	For Multiple Breakwater
$\ell / y < 1.5$	For well developed salient (Ahrens and Cox 1990)
	$\ell / y = 0.5$ to 0.67 (Dally and Pope 1986)

٣-٣-٢-٢-٢ (ب)

العلاقات الوضعية (Empirical Relationship) للمتغيرات الأخرى فمثلا أقترح (Suh and Dalrymple 1987) العلاقة بين المسافة التي يمتد إليها البروز (Salient) (y_s) وطول الحاجز (ℓ) وبعد خط تكسر الأمواج (y_b) وبعد الحاجز عن خط الشاطئ الأصلي (y) لحالة حاجز أمواج واحد أن تكون على النحو التالي:

$y_s / \ell = 0.156$	For $y_b / \ell < 0.5$
$y_s / \ell = 0.317$	For $0.5 < y_b / \ell < 1.0$
$y_s / \ell = 0.377$	For $y_b / \ell > 1.0$

أما في حالة الحواجز المتعددة أقترح نفس الباحثين الآتي :-

$$y_s = 14.8\, y\, (by/\ell^2) \exp\left[-2.83 \sqrt{by/\ell^2}\,\right] \qquad (3-80)$$

حيث أن (b) هي المسافة بين أي حاجزين (Gap) والشكل رقم (٣-٢٦) يوضح كافة الرموز.

٣-٣-٢-٢-٢ (ج)

لخص كل من (Rosati and Truitt "1990") الطريقة التي طورها اليابانيون (Japanese (JMC) Ministry of Construction 1986) والمبنية على الملاحظات الحقلية لسلوك حواجز الأمواج التي تم إنشاؤها على الشواطئ اليابانية وأمكن إيجاد العلاقات الآتية :-

- في حالة الانحدار الخفيف (Gentle Slope) للقاع ١ : ٣٠ ووجود الضهر (Offshore Bar) وأمواج متوسطة ورمال القاع ناعمة يكون طول الحاجز

$1.8\ L05 < \ell < 3.0\ L.05$
$0.8y < \ell < 2.5\ y$

- وفى حالة الانحدار الشديد (Steep Slope) ١ : ١٥ وعدم وجود الضـهر (Offshore Bar) ووجود أمواج متوسطة ورمال خشنة أو زلط

$1.4\ L05 < \ell < 2.3\ L05$
$1.0\ y < \ell < 3.5\ y$

حيث أن:-

T05 = wave period associated with H05
H05 = average deep water height of the five highest "non storm" waves occurring in the year.

L05 = deep water wave length computed from T05
H05 < $H_{1.0}$ which is the wave height equaled or exceeded at least once in each year
H05 > daily average wave height.

ويكون طول الحاجز هو متوسط أكبر قيمة للحد الأدنى وأصغر قيمة للحد الأكبر في المعادلات السابقة.
وإذا كان طول الشاطئ المطلوب حمايته أكبر من ضعف طول الحاجز فإن المسافة بين الحاجزين (b) تقدر بالعلاقات التالية :-

$0.7\ y < b < 1.8\ y$
$0.5\ L05 < b < 1.0\ L05$

وتكون قيمة (b) هي متوسط أكبر قيمة للحد الأدنى وأصغر قيمة للحد الأكبر في العلاقات السابقة.

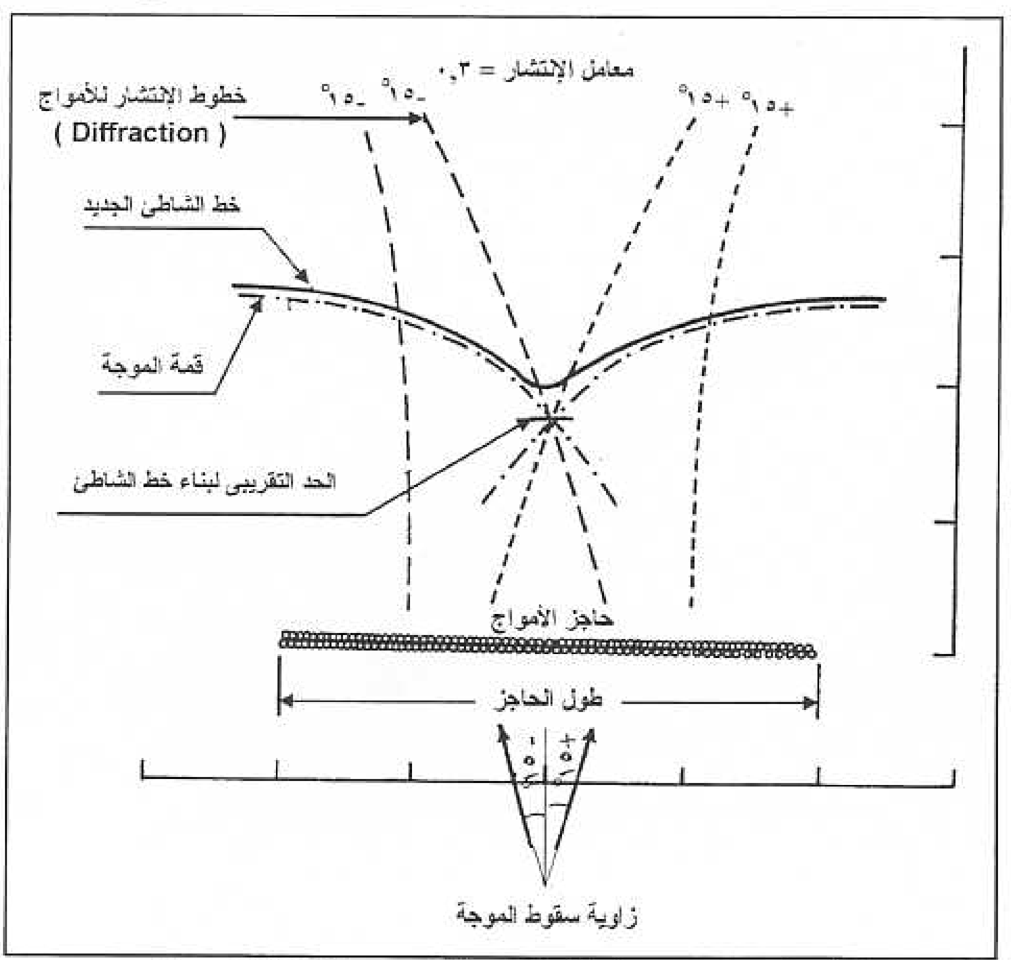
٣-٣-٢-٢-٢ (د)
يمكن تحديد بعد الحاجز عن خط الشاطئ بمعرفة إذا ما كانت ســـوف تتكون Tombolo أو Salient وذلك عن طريق رسم وتوقيع منحنيات الانتشار (Diffraction) كما هو مبين بالشـكل رقم (٣-٣١) ، (٣-٣٢).

٣-٣-٢-٣ منسوب هامة حواجز الأمواج (Crest Level)

لا شك أن منسوب هامة حواجز الأمواج يحدد كمية طاقة الأمواج التي تعبر الحاجز ، فالمنسوب العالي (High) يحول دون مرور جميع الأمواج إلا العالية جدا منها بينما المنسوب المنخفض (Low) يسمح بالمرور المتكرر للأمواج وبالتالي فإن طاقة الأمواج التي تصل إلى خلف الحاجز (Lee Side) تقلل أو تمنع تكوين الـ (Tombolo) وفى حالة الحاجز الغاطس فإن منسوب الهامة يحدد منسوب الشاطئ المتكون أو المقام خلف الحاجز والحاجز العالي نوعا ما يؤثر تأثيرا مباشرا على الأمواج الساقطة وكلما يزيد منسوب هامة الحاجز الغاطس فإن تأثيره على الأمواج يزيد ، ولتعيين ارتفاع الأمواج التي تعبر خلف حاجز الأمواج (Ht) بمعلومة الأمواج الساقطة (Hi) فأنه تستعمل المعادلات الآتية (SPM) :

$$Ht/Hi = \sqrt{1 - \frac{(4\pi h/L) + \sinh(4\pi h/L)}{\sinh(4\pi ds/L) + (4\pi ds/L)}} \tag{3-81}$$

For $0.00155 < ds/gT^2 < 0.0793$



شكل رقم (٣-٣١) طريقة التنبؤ بأقصى حد لخط الشاطئ بالرسم
(فى حالة معامل الإنتشار = ٠,٣ وزاوية السقوط ± ١٥°)

$$Ht/Hi = \sqrt{1 - (h/ds)} \tag{3-82}$$

For $ds/gT^2 < 0.00155$

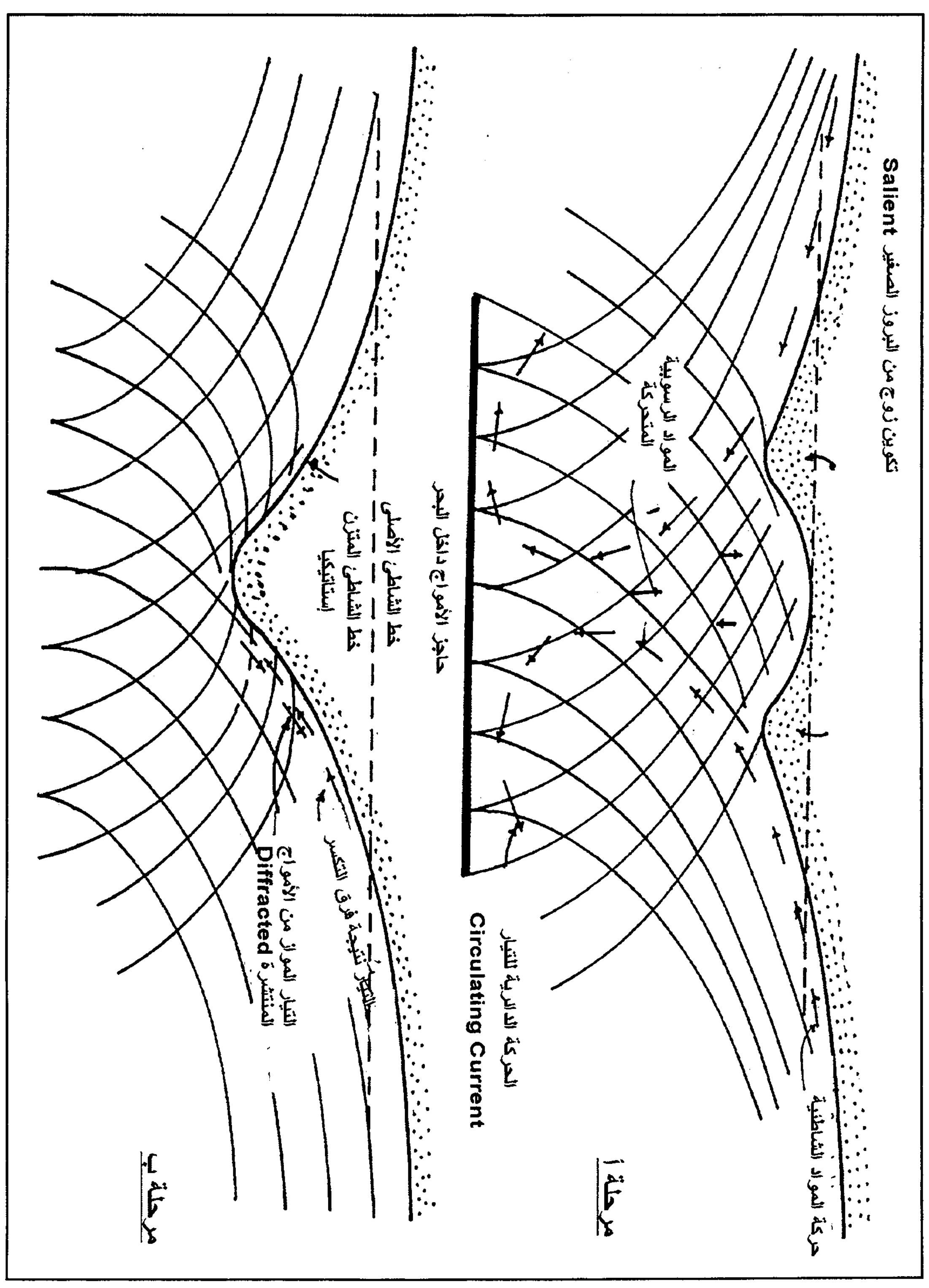
$$\mathbf{Ht/Hi} = \sqrt{1 - \mathrm{Exp}(-4\pi(ds - h)/L)} \tag{3-83}$$

For $ds/gT^2 > 0.0793$

where :

H_t	=	Transmitted wave height
H_i	=	Incident wave height
ds	=	Water level below the SWL in front of breakwater
h	=	Height of structure above sea bottom

L	=	Wave length in front of breakwater
T	=	Wave period
g	=	Acceleration of gravity



شكل رقم (٣-٣٢) مراحل تكوين بروز الـSalient :
مرحلة أ - تكون عدد ٢ بروز بواسطة حركة المواد الشاطئية
مرحلة ب - بروز واحد (المرحلة النهائية)

والشكل رقم (٣-٢٨) يوضح كافة الأبعاد المذكورة أعلاه.

٣-٢-٣-٤ أسس اختيار حواجز الأمواج

تتوقف أسس اختيار الحواجز على نوعية مواد الإنشاء من ناحية وعلى الغرض من إنشائها من ناحية أخرى كما هو موضح فيما بعد :-

٣-٢-٣-٤-١ نوعية مواد الإنشاء

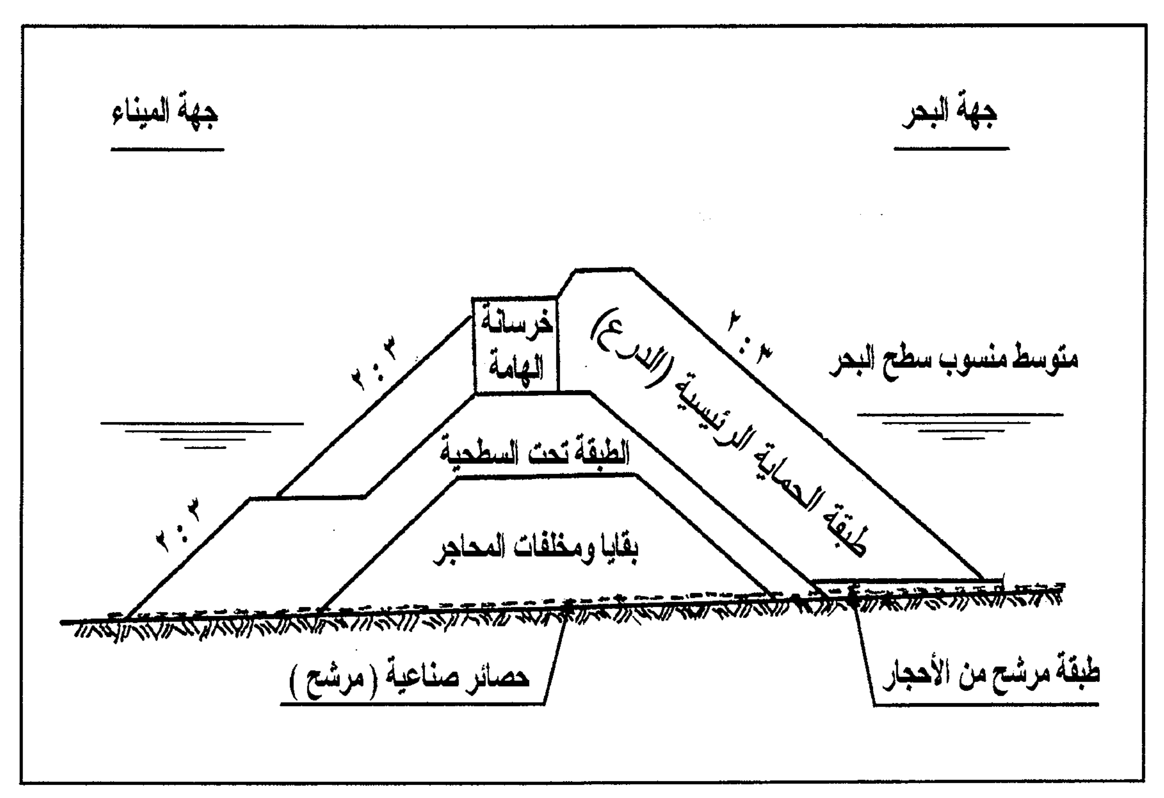
**** الحواجز الكومية (Rubble Mound) :-**
شكل رقم (٣-٣٣أ) وهي تتميز بسهولة استعمالها في حالة حواجز الأمواج المتصلة بالأرض (مثل المواني) وحواجز الأمواج الموازية للشاطئ وفى أي عمق للمياه ويمكن تصميمها لتقاوم اعتي الأمواج العالية (Very Severe Waves).

**** حواجز الأحجار الإسفلتية (Stone-Asphalt Breakwater):-**
وهي تستعمل في حالات حواجز الأمواج المتصلة بالأرض وعندما تتوافر المعدات الخاصة بخلط الأحجار بالمواد الإسفلتية ومن ثم فإنه لا يمكن استعمالها في المشاريع الضخمة بالإضافة إلى أنها تتطلب أعمال صيانة منتظمة (Regular) وخصوصا من جراء إسالة المواد الإسفلتية نتيجة لحرارة الشمس.

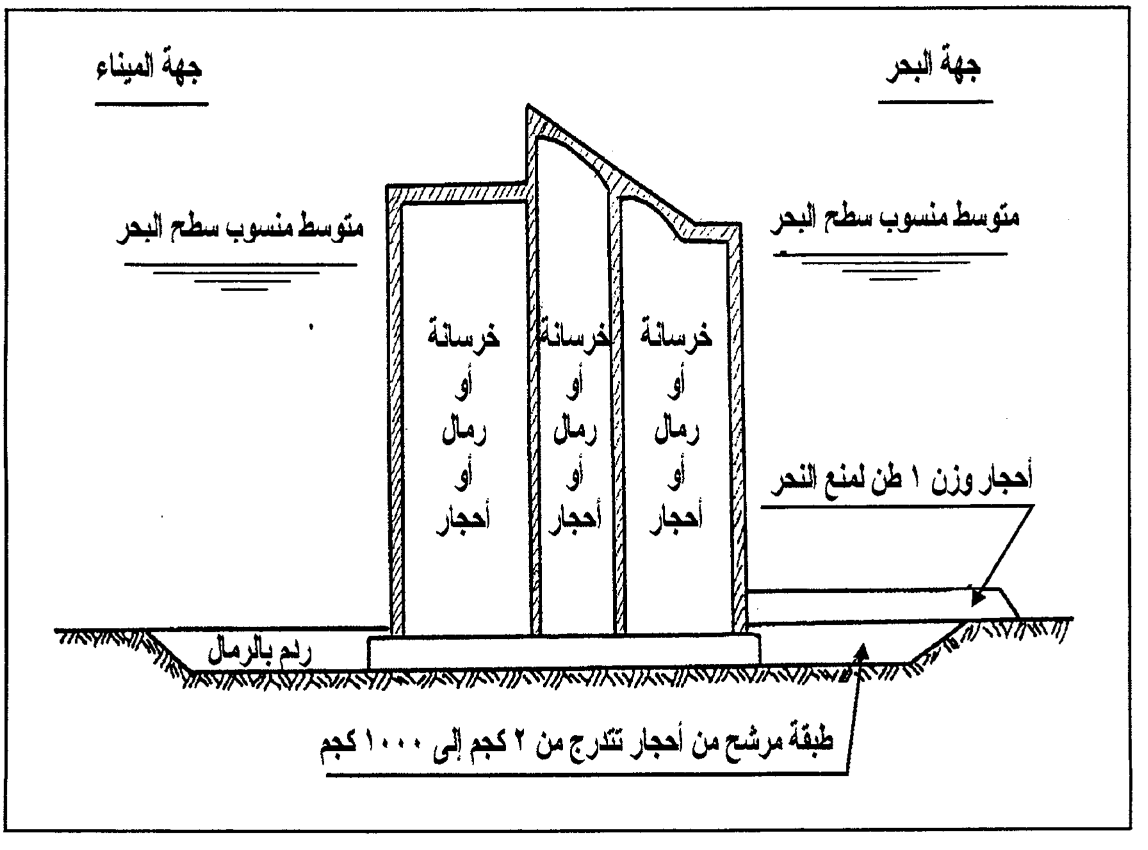
**** حواجز الخلايا والستائر الخازوقية الحديدية :-**
(Cellular-Steel Sheet Pile Breakwaters)
يتكون هذا النوع من الحواجز من صفين من الستائر اللوحية يتم ربطها بشدادات عرضية ويملأ بين صفى الستائر بالرمال أو يتكون من ستائر تدق على شكل خلايا (Cellular) تملأ بالرمال أو الدقشوم وتستعمل في الأماكن ذات الهدوء النسبي لأمواج البحر وتصلح لأعمال المواني حيث أنها حواجز رأسية ويركب عليها مصدّات (Fenders) لحمايتها من السفن وتتطلب هذه الحواجز أعمال صيانة بسيطة ومن ميزاتها سرعة الإنشاء ورخص التكاليف وإمكان استعمالها في الحواجز المتصلة بالشاطئ والموازية للشاطئ إلا أنها تعانى من التآكل لتعرضها لمياه البحر.

**** حواجز القيسونات الخرسانية (Concrete Caisson Breakwaters):-**
هذه الحواجز مناسبة لأعماق المياه التي تتراوح من ٣ إلى ١٠ أمتار.وعلى أن يكون الأساس من الصخور أو الأحجار الكومية وعادة تصنع القيسونات إما من الخرسانة المسلحة أو الحديد على اليابسة وتنقل إلى الموقع ثم تملأ بالأحجار أو الخرسانة أو الرمال لتغوص في المواقع المحددة لها ثم تصب فوقها الهامة شكل رقم (٣-٣٣ب). ومن عيوبها إمكان حدوث نحر لمواد الأساس من حولها ومن ثم يجب وضع الأحجار (Riprap) حولها.

**** حواجز الأمواج العائمة (Floating Breakwaters):-**
تستعمل عندما يكون قاع البحر مكون من مواد ضعيفة لا تتحمل الأوزان الكبيرة وأيضا لحماية مواني القوارب الصغيرة (Small Craft) في المناطق المحمية نسبيا (Relative Sheltered)، وهي لا تصلح في الشواطئ المفتوحة المعرضة للأمواج العالية لضعف مقاومتها، ويصنع هذا النوع من الحواجز من براميل ملحومة مع بعضها البعض وتثبت في القاع بشبك نايلون أو حديد - أنظر (٣-٣-١-١).



شكل رقم (٣ ـ ٣٣أ) حاجز أمواج كومى



شكل رقم (٣ ـ ٣٣ب) حاجز أمواج من القيسونات

٣-٣-٢-٤-٢ الغرض من الإنشاء

**** حواجز الأمواج المتصلة بالأرض (Shore Connected) :**
تبنى عادة بغرض إنشاء الموانى أو أحواض السباحة داخل البحر - أنظر (٣-٣-٢-١-١) وفى حالة توافر المعدات اللازمة لها يبدأ تنفيذها من الشاطئ أولا ثم تمتد أعمال البناء من الشاطئ إلى داخل البحر.

**** حواجز الأمواج الموازية للشاطئ:**
وتبنى بغرض حماية شاطئ معين أو تنميته وتوسيعه أنظر (٣-٣-٢-١-٢).

٣-٣-٢-٥ تأثير حواجز الأمواج على المنطقة الشاطئية

٣-٣-٢-٥-١ حواجز الأمواج المتصلة بالشاطئ

يوضح الشكل رقم (٣-٢٥) تأثير هذا النوع من الحواجز ويتلخص في أن ذراع الحاجز المتصل بالأرض يعترض حركة المواد الرسوبية الموازية للشاطئ وبهذا تتكون منطقة ترسيبات على هذا الجانب (Updrift) والتي تزيد مع الزمن وتمتد داخل البحر إلى أن تصل إلى جزء الحاجز الموازى للشاطئ ثم يلتف حول رأس الحاجز إلى داخل فتحة الميناء في المنطقة الأقل اضطرابا مسببا ترسيبات في المدخل مما ينتج عنه مشاكل للميناء من ناحية دخول وخروج السفن والبواخر بينما تتكون منطقة نحر على الجانب الآخر من حواجز الأمواج (Downdrift) ولإمكان التغلب على هذه المشاكل فيمكن استعمال طرق التغذية الصناعية بالرمال ومن هذه الطرق استخدام أسلوب (Sand by-passing) لنقل الرمال من جانب الترسيب إلى جانب النحر.

٣-٣-٢-٥-٢ حواجز الأمواج الموازية للشاطئ

أن تغير خط الشاطئ نتيجة إنشاء هذا النوع من الحواجز يتوقف أساسا على كمية المواد الرسوبية المتحركة في الاتجاه الموازي للشاطئ وبقدر أقل على حركة الرسوبيات في الاتجاه العمودي على الشاطئ سواء أكانت من البحر أو من الشاطئ (Onshore-offshore) .

ففي حالة ما تكون قمة الأمواج المتكسرة (Crest) موازية لخط الشاطئ الأساسي (حيث لا توجد حركة المواد الرسوبية الموازية للشاطئ) فإن الأمواج المنتشرة (Diffraction) في ظل الحاجز سوف تقوم بتحريك المواد الرسوبية من أحرف الحواجز إلى منطقة الظل (Shadow) وتستمر هذه العملية إلى أن تتكون سواء الـ(Salient أو Tombolo)

أما في حالة سقوط الأمواج بزاوية على خط الشاطئ فإن معدل حركة المواد الرسوبية الموازية للشاطئ خلف الحاجز سوف تقل مسببة ترسيبات في تلك المنطقة وباستمرار الترسيبات سوف يتكون بروز محدود في خط الشاطئ (الـ Salient)أو بروز يمتد حتى حاجز الأمواج (الـTombolo)، ففي حالة تكون التومبولو فإنها سوف تعوق حركة المواد الرسوبية في الاتجاه الموازى للشاطئ بصورة كاملة وتتزايد الترسيبات في منطقة الـ Updrift بينما يحدث نحر شديد في منطقة الـ (Downdrift) أما في حالة تكون البروز الصغير (Salient) فإنه سوف يتكون شكل محدب متماثل خلف الحواجز شكل رقم (٣-٢٦) بينما يكون هنالك نحر ضعيف في منطقة الـ Downdrift وذلك لأن جزء من الرسوبيات سوف يتوالى مروره بين البروز والحاجز.

وتكوين التومبولو (Tombolo) يزيد مساحة الأرض خلف الحاجز في منطقة الـ (Updrift) بينما تسبب أضرار أخرى وخصوصا في حالة وجود تيار عائد (Rip current) قد يتسبب في أخطار الغرق للذين يمارسون السباحة في هذه المنطقة.

٣-٣-٣ أعمال التكسية (Revetments)

تستعمل التكسيات لحماية ميول الشواطئ الرملية أو الحصوية وكذلك لتبطين جوانب القنوات المائية والمرتفعات (Upland) لمقاومة انهيارها بواسطة الأمواج والتيارات الضعيفة. والتكسيات لا تستطيع الوقوف بمفردها كالحوائط البحرية مثلا ولكنها تعتمد اعتمادا كليا على قوة الارتكاز على التربة التي أسفلها حيث توضع مواد التكسيات فوق الميول مباشرة وتعتمد في مقاومة طاقة الأمواج وتشتيتها على قوة الميل نفسه وكذلك على قدرة الطبقة العليا والمعروفة باسم طبقة الدرع (Armor Layer).

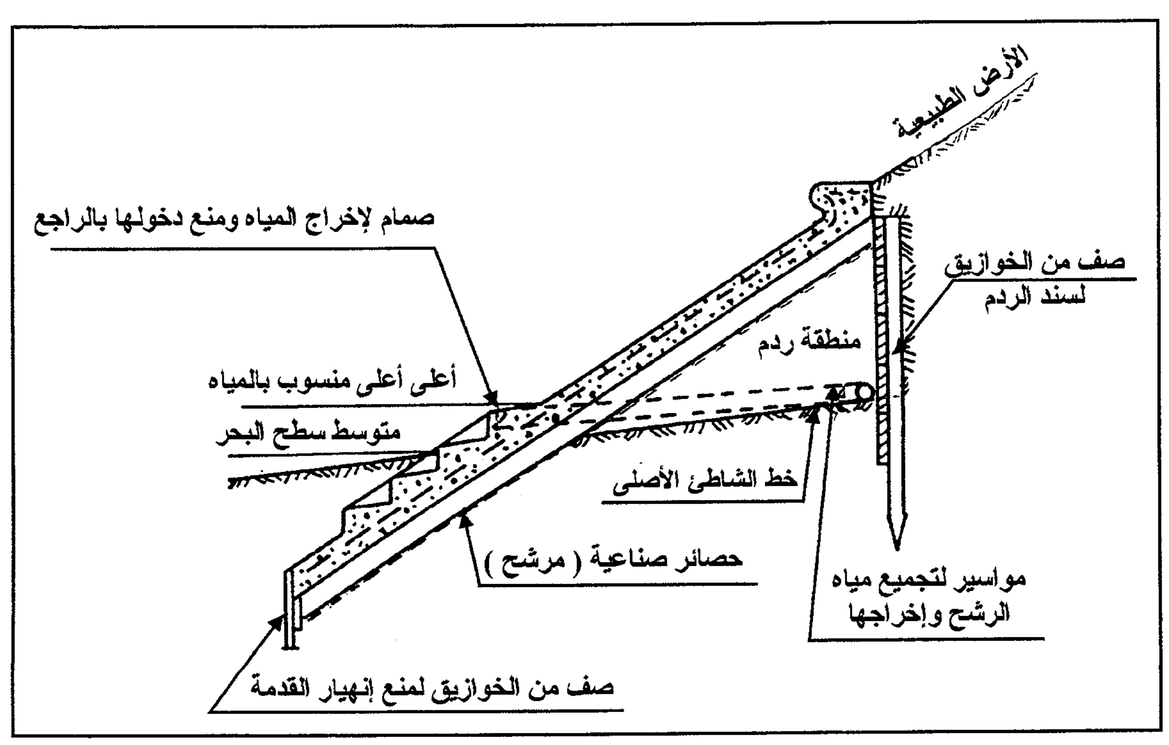
وتقوم التكسيات بحماية الأراضي التي تقع خلفها فقط ...أي أنها لا توفر حماية للمناطق الواقعة على جانبيها (Adjacent Areas or Downcoast) أو للشواطئ الرملية الواقعة أمامها جهة البحر.

١-٣-٣-٣ أنواع التكسيات

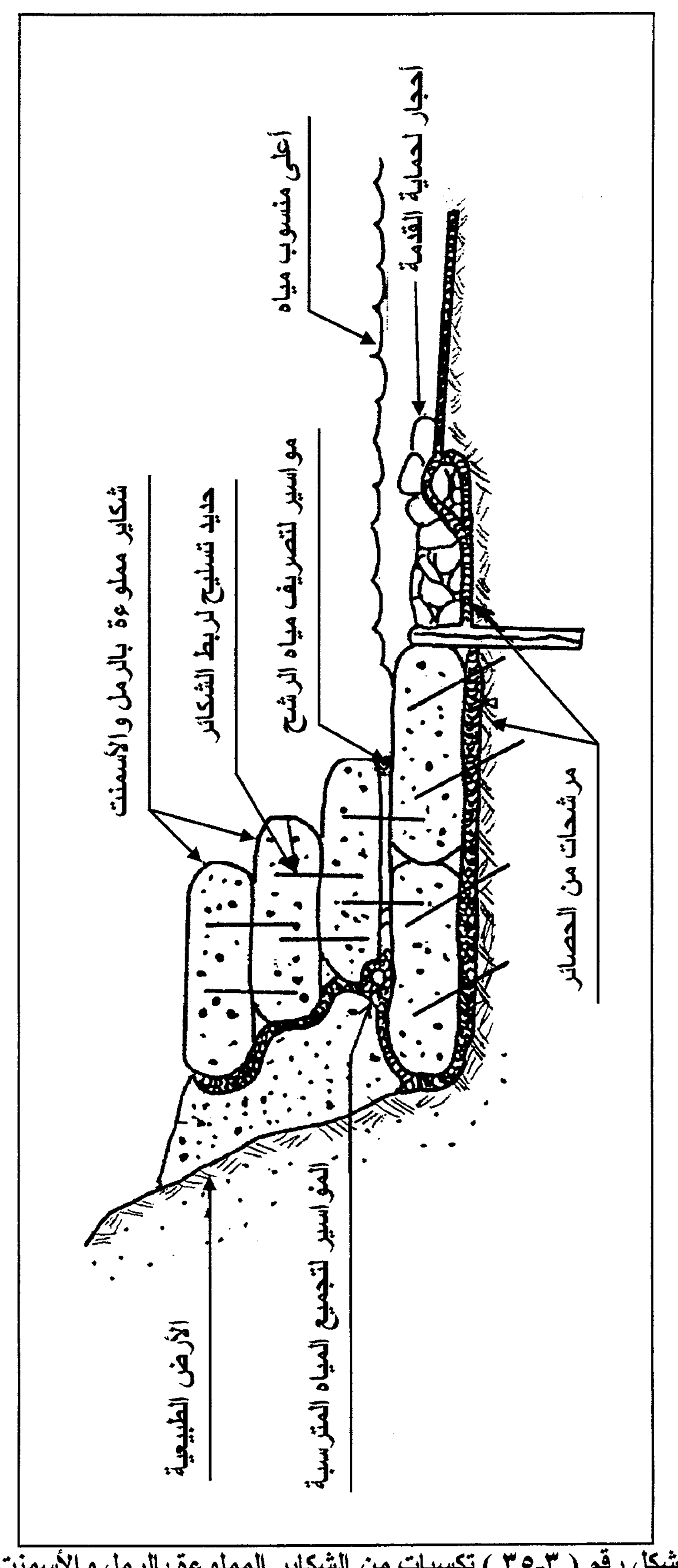
الأنواع المختلفة للتكسيات المستخدمة في حمـــاية الشـــواطئ موضحة بالأشكال من رقم ٣-٣٤ إلى رقم ٣-٣٨ والذي يتضح منها أن هناك نوعين أساسيين من التكسيات هما على النحو التالي:-

١-١-٣-٣-٣ النوع الصلب (Rigid Type)

وفيه تصب الخرسانة في مكانها شكل رقم (٣-٣٤) أو توضع الشكاير المملوءة بالرمال والأسمنت والتي تربط ببعضها البعض بواسطة أسياخ من الحديد على الميل الطبيعي (شكل رقم ٣-٣٥) ويعطى هذا النوع من التكسيات حماية جيدة للجسور بشرط تخفيض منسوب المياه في الموقع أثناء الإنشاء حتى يمكن صب الخرسانات بالكفاءة اللازمة.



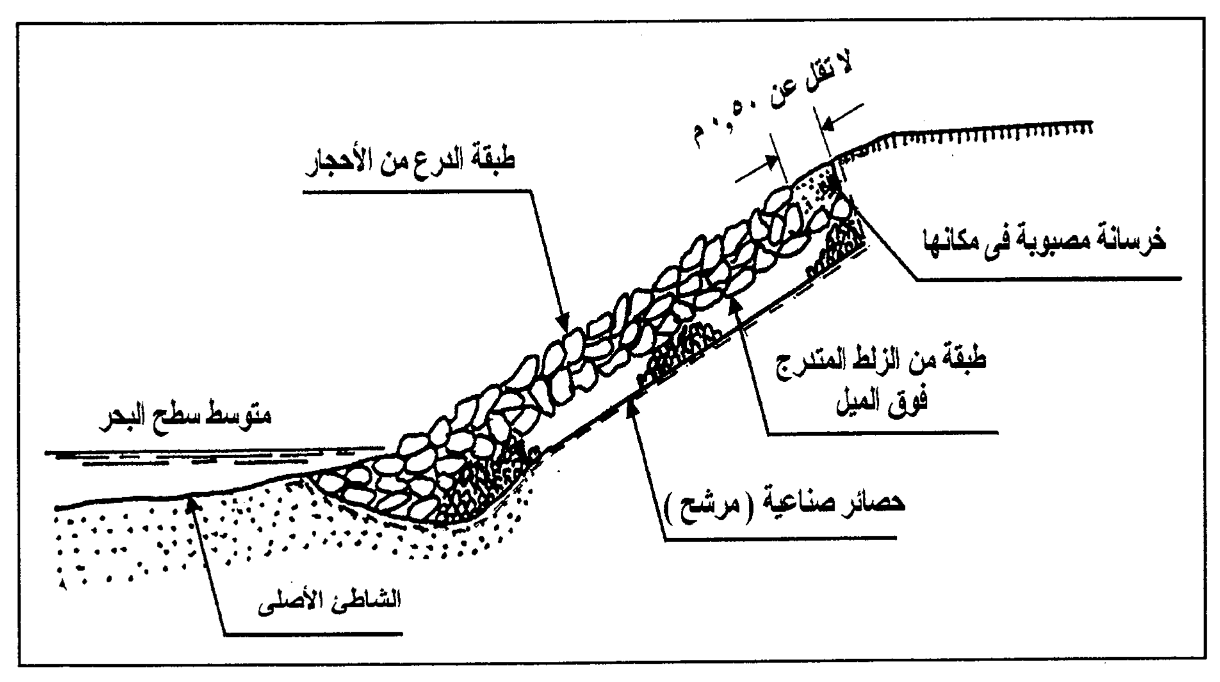
شكل رقم (٣-٣٤) التكسيات الخرسانية المنحدرة والمتدرجة (Stepped)



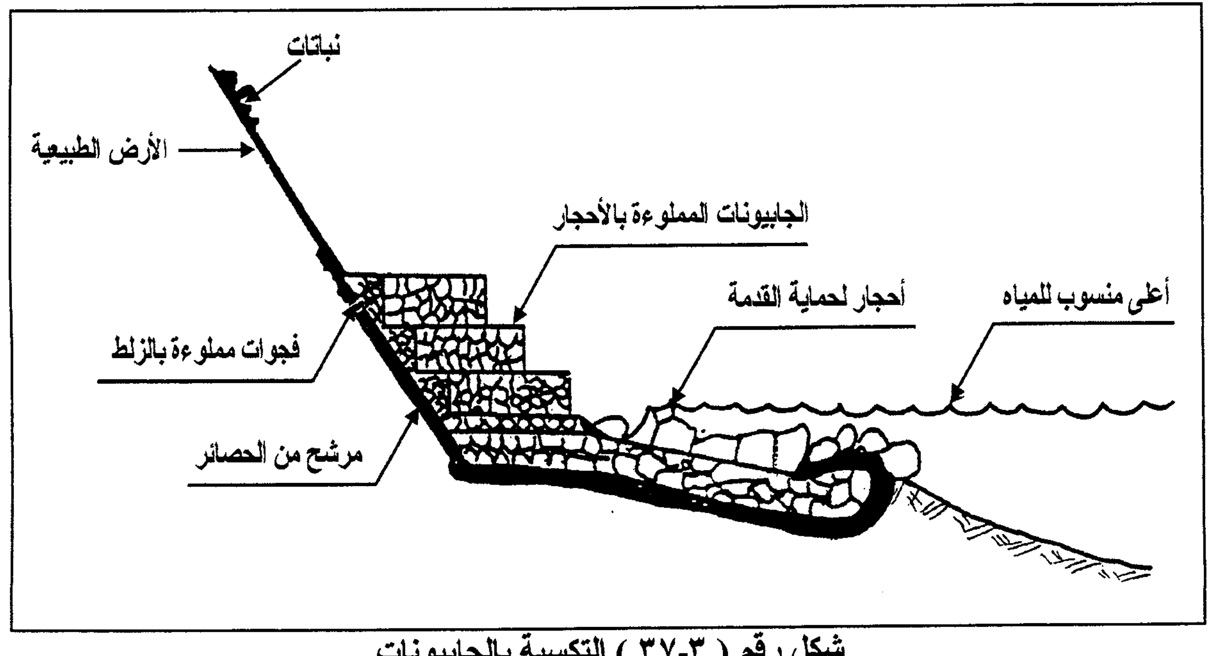
شكل رقم (٣-٣٥) تكسيات من الشكاير المملوءة بالرمل والأسمنت

٣-٣-٣-١-٢ النوع المرن أو المفصلي (Flexible or Articulated Type)

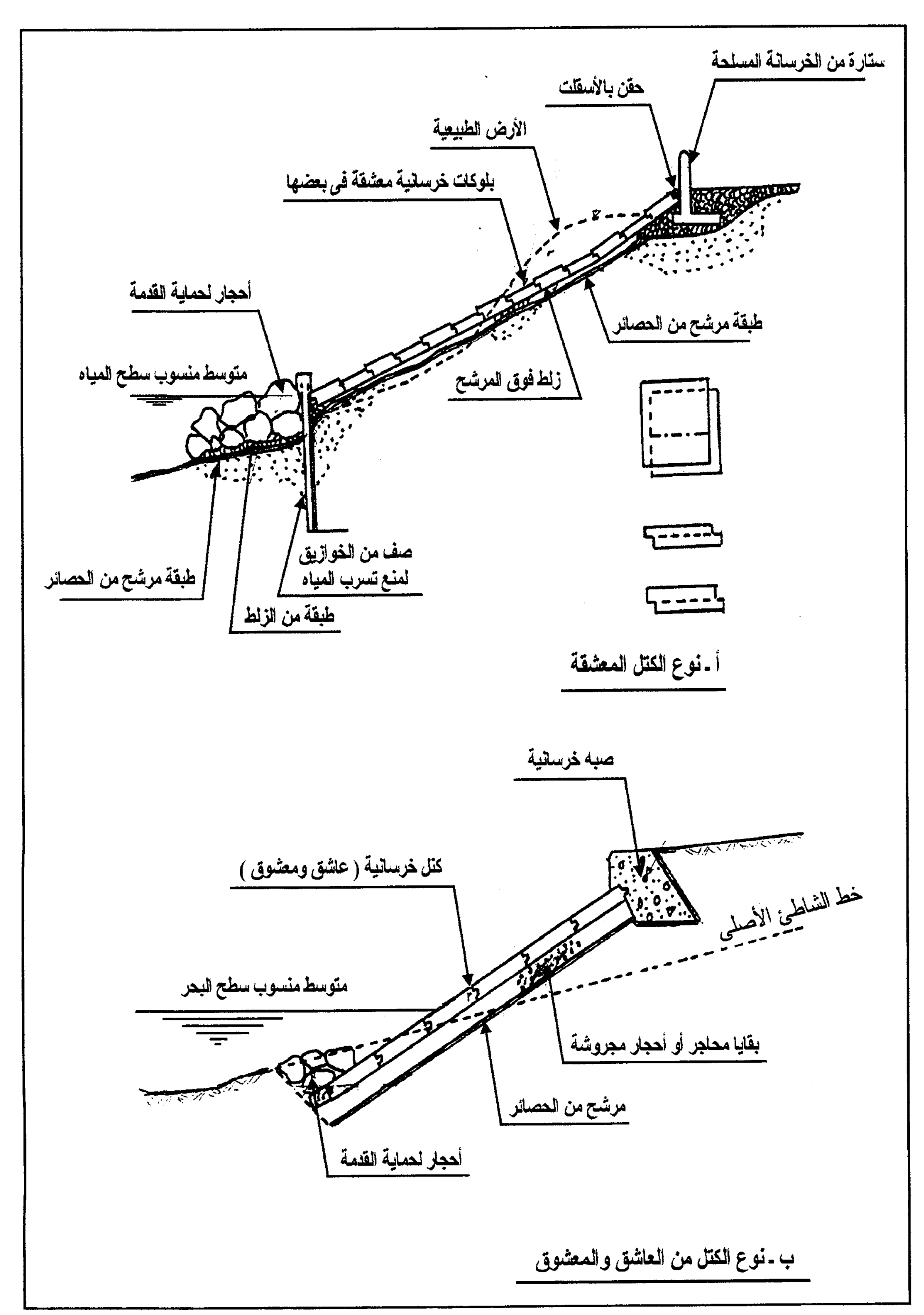
ويعطى هذا النوع حماية ممتازة للجسور خاصة لأنه يستطيع تحمل انضغاط التربة الحاملة له أو هبوطها بدون حدوث انهيارات إنشائية لهذا النوع، وتنشأ تكسيات هذا النوع من أحجار المحاجر Quarry Stones أو الـ Riprap شكل رقم (٣-٣٦) على أن توضع الكتل الكبيرة الحجم على السطح العلوي لتتحمل صدمات الأمواج ، كما يمكن استخدام وحدات الجابيونات المملوءة بالأحجار شكل رقم (٣-٣٧) أو البلوكات أو البلاطات الخرسانية ذات الألسنة التي تتداخل وترتكز على بعضها Interlocking شكل رقم (٣-٣٨أ) والتي تعرف باسم (Shiplap Blocks) أو "العاشق والمعشوق" (Tongue and Groove). شكل رقم (٣-٣٨) وهذا النوع الأخير أكثر شيوعا من النوع الآخر نظرا لاتزانه.



شكل رقم (٣-٣٦) تكسيات من الأحجار



شكل رقم (٣-٣٧) التكسية بالجابيونات



شكل رقم (٣-٣٨) التكسيات المفصلية

ويتميز هذا النـوع من التكسيات بقدرتـه علـى التخلـص من ضـغوط الرفـع الإستاتيكى (Hydrostatic Uplift Pressure). في حين أن طبقة المرشح المكونة من الأحجار الصـغيرة أو حصـائر الجيوتكستايل تسمح بالتخلص من هذه الضـغوط الواقعة علـى الأسـاسـات بطريقـة أكثـر أمنـاً مـن إنشاء مواسير الرشح (Weep Holes).

ويعتمد ميل التكسيات على نوعية الطبقة الرئيسية (الدرع) ويفضل ألا يكون الميل أشد انحداراً من ١:٢ ولكن كلما كان أقل انحدارا (Gentle Slope) كلما زادت مقاومه التكسيات للأمواج وانعكاسها، كما يجب أن يكون الميل الطبيعي للجسر مستو أي لا توجد أجزاء منه مرتفعة وأخرى منخفضة وحتى في حالات عدم استواء الميول الطبيعية فيجب أن تسوى الميول قبـل أعمـال الإنشـاء- شكل رقم (٣-٣٨أ).

٣-٣-٣-٢ تأثير التكسيات على المنطقة الشاطئية

تقوم التكسيات بحماية المناطق التي تقع خلفها وللجسور المقامة عليها ولا تعطى أي حماية للمناطق المجاورة لها أو الشواطئ التي أمامها جهة البحر وحتى مناطق التآكل الواقعة أسفل التيار بالنسبة لها قد يزيد النحر فيها نتيجة لإنشاء التكسيات لأنها تحمي تربة الميول الطبيعية ومن ثم تمنعها من الانجراف مع رسوبيات التيار الموازي للشاطئ وكذلك نتيجة للأمواج المنعكسة (Reflection) منها والتي تزيد من ارتفاع الأمواج الساقطة التي تتسبب في تزايد معدلات النحر سواء أمام التكسية أو في المناطق المجاورة لها. لذلك للحفاظ على الشواطئ الرملية الواقعة أمام التكسيات فلابد من استخدام وسائل أخرى إضافية مثل التغذية الصناعية أو الرؤوس البحرية أو حواجز الأمواج.

٣-٣-٤ الحوائط البحرية (Sea-Walls)

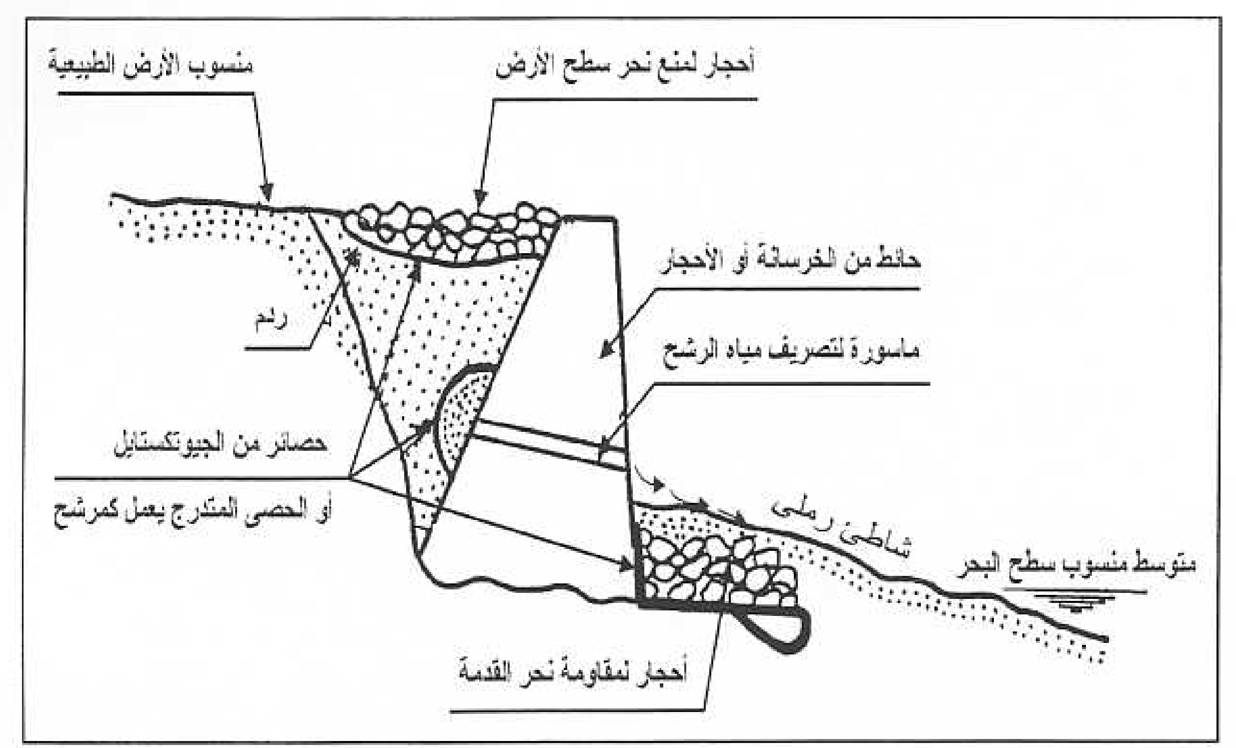
هي منشآت موازية للشاطئ مهمتها هي منع وصول أمواج البحر أو مياه فيضانه (ارتفاع منسوب البحر في المنطقة الساحلية أثناء النوّات والعواصف Storm Surge) إلى المناطق المنخفضة الواقعة خلفها وحماية المنشآت والأراضي الزراعية والمستصلحة من هجمات الأمواج، مثل حائط أبوقير البحري، كما تستخدم الحوائط البحرية في سند (Retain) وحماية ميول الكثبان الرملية وأعمال الجسور الخاصة بإنشاء الطرق، مثل حائط كورنيش الإسكندرية، كما أنه كثيرا ما تقام هذه الحوائط لتثبيت الخط الفاصل بين اليابسة والبحر دون حماية الشواطئ الرملية أمامها أو على جانبيها. وفى حالات إنشاء الحوائط البحرية في مناطق الشواطئ الرملية المعرضة للتآكل قد تضيق وربما تختفي تماما تلك الشواطئ خاصة في حالات عدم وجود مصدر للرمال (Source) لتغذية الشاطئ ، ومن ثم فإن إقامة الحوائط البحرية لا يساعد على وجه العموم على نمو الشواطئ ولا يقلل من معدلات التآكل ولكنها تنشأ عادة للحماية فقط.

٣-٣-٤-١ أنواع الحوائط البحرية

تنقسم الحوائط البحرية إلى نوعين أساسيين هما:-

٣-٣-٤-١-١ حوائط لا تمتص طاقة الأمواج ولكن تعكسها (Non-Energy Absorbing Type)

وهى عادة تكون حوائط رأسية في الجهة المقابلة للبحر شكل رقم (٣-٣٩) وتبنى هذه الحوائط من كتل الخرسانة العادية أو من قيسونات تتكون جدرانها من الستائر اللوحية وتملأ بردم مناسب ويتم التخلص من مياه الرشح خلف هذه الحوائط بعمل مواسير صرف مائلة (Weepholes) في الحائط لتصريف المياه مع استخدام مرشح مناسب داخلي عليها لمنع تسرب الرمال من خلال هذه المواسير شكل رقم (٣-٣٩) ويمتاز هذا النوع من الحوائط البحرية بالخصائص التالية :-



شكل رقم (٣-٣٩) حائط خرسانى راسى

* أنه يشغل مساحة مائية صغيرة بينما يهيئ مساحة خلفية كبيرة ولذا فهو يستخدم بكثرة في حالات إنشاء الطرق الساحلية أو فيما يسمى بالكورنيش.

* حجمها الضخم ووزنها الكبير يعطيها متانة ضد تأثير الهزات التي تتولد عن أمواج النوات والتي تسبب مشاكل فنية على المنشآت.

* بالرغم من أن تكاليف إنشائها كبيرة إلا أن تكاليف صيانتها صغيرة.

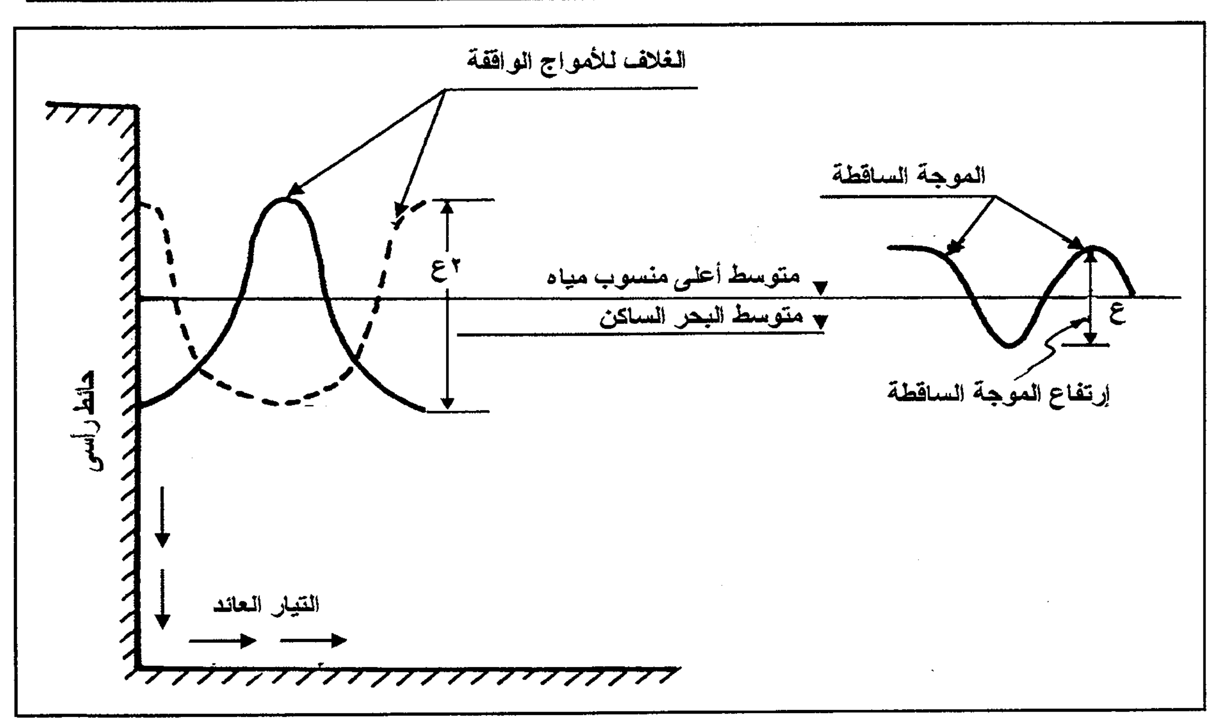
أما عيوبها فهي تنحصر فيما يلي :-

* حدوث انكسار وانعكاس للأمواج الساقطة عليها تتولد عنه كثرة الرذاذ المتطاير.

* كما أنه يؤدي إلى زيادة ارتفاع الأمواج المهاجمة إلى الضعف تقريبا، ومن ثم فإنه من الضروري رفع المنسوب العلوي التصميمي للحائط بمقدار ضعف ارتفاع الموجة فوق أعلى منسوب لمياه الموجة الواقفة (Standing Waves) على الأقل.

* أما قدمة هذا الحائط فيلزم أن يقع منسوبها أسفل من منسوب المياه المنخفضة (Low Water) بمقدار ضعف ارتفاع الموجة ، وبذلك تصبح الحائط ضخمة الأبعاد لتحاشى التآكل خلف أعلى الحائط وأمام القدمة لمواجهة الأمواج الواقفة (Standing Waves) شكل رقم (٣-٤٠).

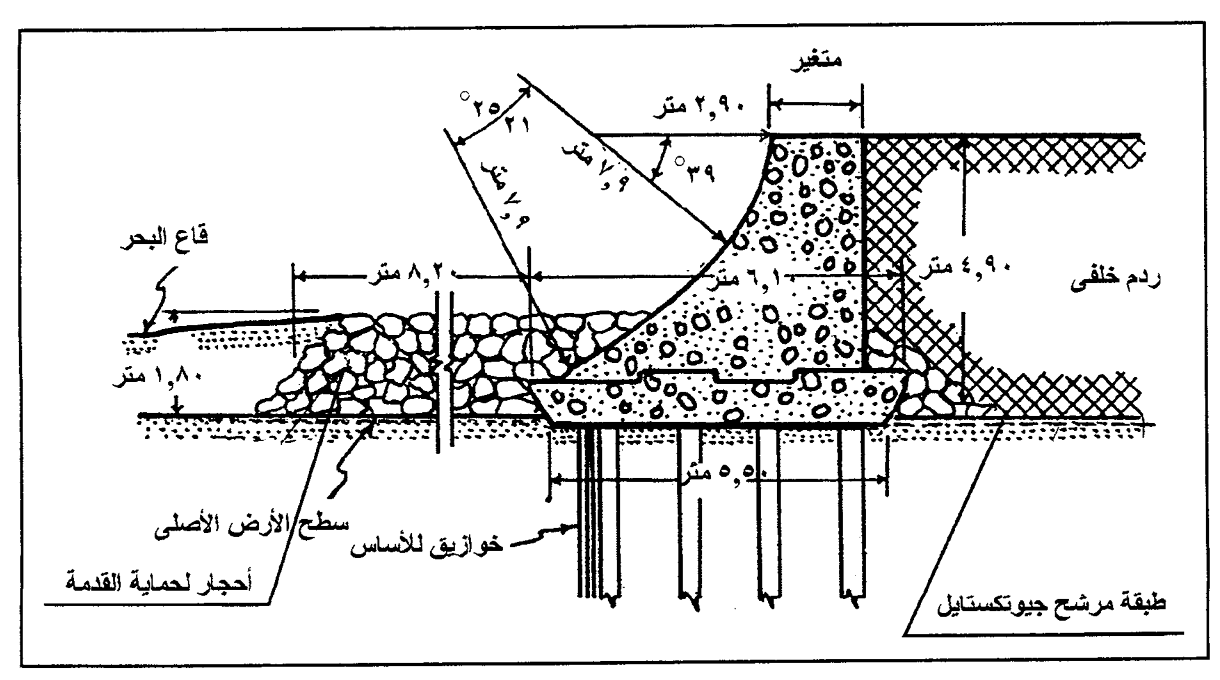
* أما إذا كان عمق المياه صغير فإن الأمواج المرتدة يتولد عنها تيار عائد (Undertow) شكل رقم (٣-٤٠) يؤثر على القدمة ويؤدى إلى تآكل الرسوبيات أمام الحائط.



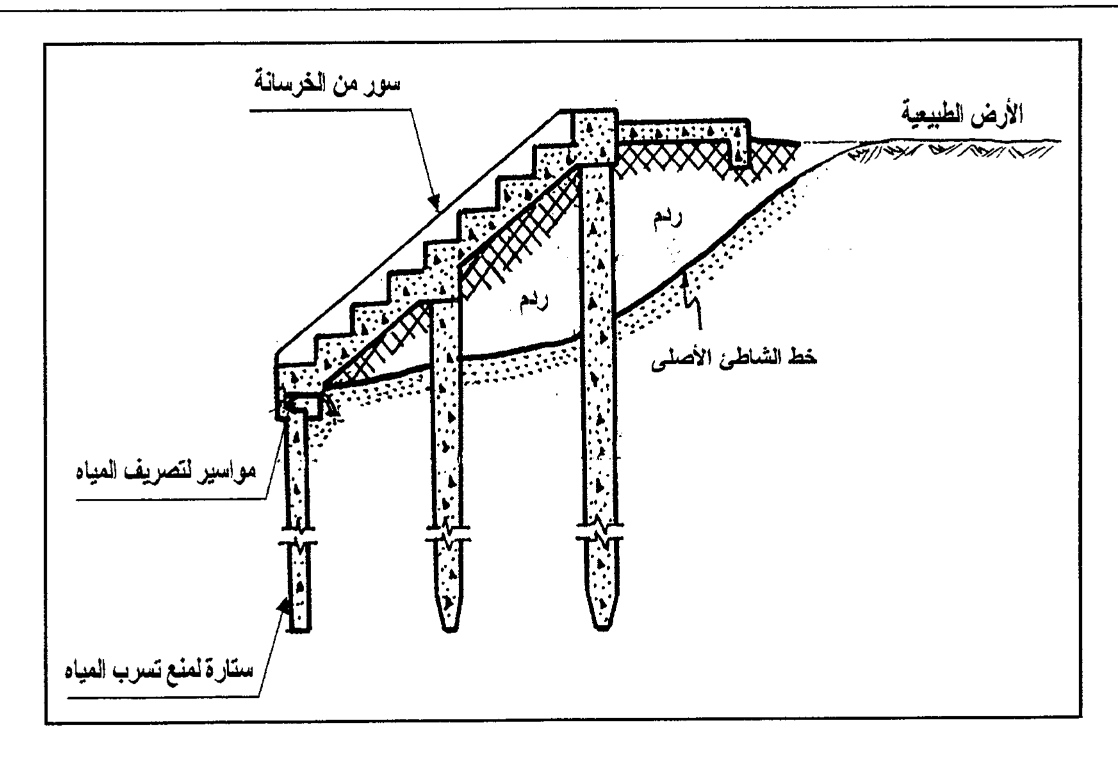
شكل رقم (٣-٤٠) الأمواج الساقطة والواقفة والتيار العائد فى حالة وجود حائط رأسى

٣-٣-٤-١-٢ حوائط تمتص طاقة الأمواج (Energy Absorbing Type)

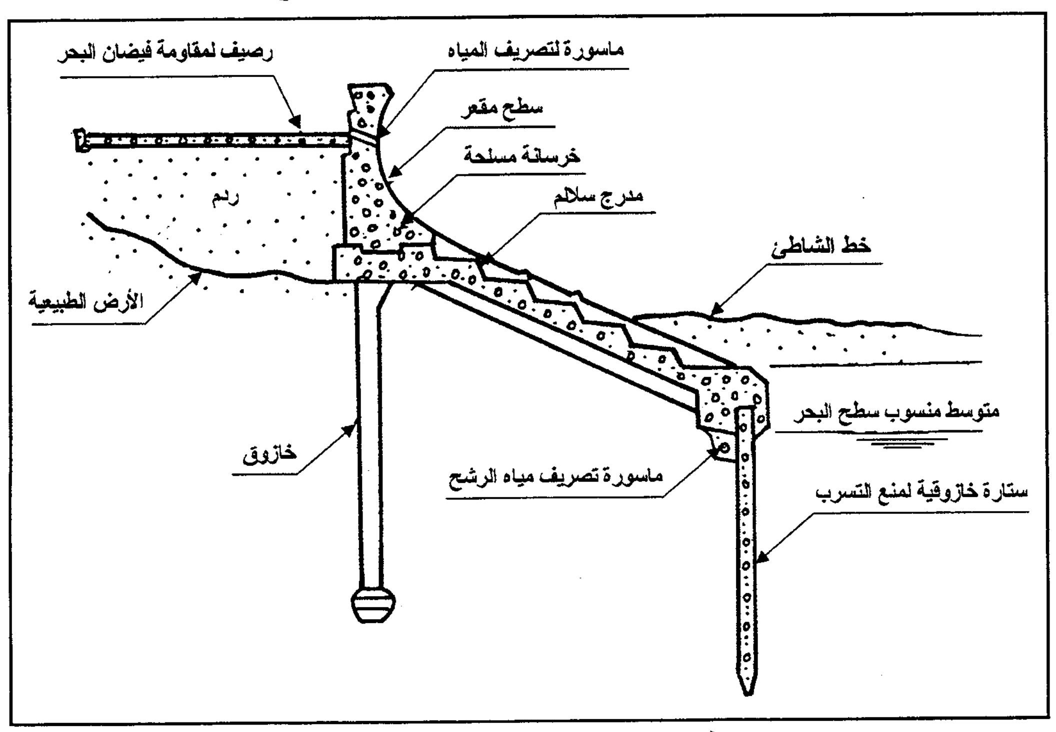
وهذا النوع إما أن تكون واجهتها ناحية البحر مقعرة شكل رقم (٣-٤١) (Curved Concave wall) أو من النوع المدرج (Stepped Wall) شكل رقم (٣-٤٢) أو خليط من الاثنين شكل رقم (٣-٤٣) ويقوم الجزء المقعر بعكس الأمواج عند اصطدامها بالحائط وتمنعها من الوصول إلى المناطق الخلفية للحائط أما في حالة الحائط المدرج فإنه يشتت قوة الأمواج بواسطة الخشونة آلتي توفرها الأجزاء المدرجة. ويجب حماية قدمة هذا النوع من الحوائط البحرية بستائر من الخوازيق اللوحية أو بوضع كتل من الأحجار الضخمة أو البلوكات الخرسانية أو بمد القدمة نفسها لمسافة كافية تحت منسوب سطح البحر.



شكل رقم (٣-٤١) حائط خرسانى مقعر

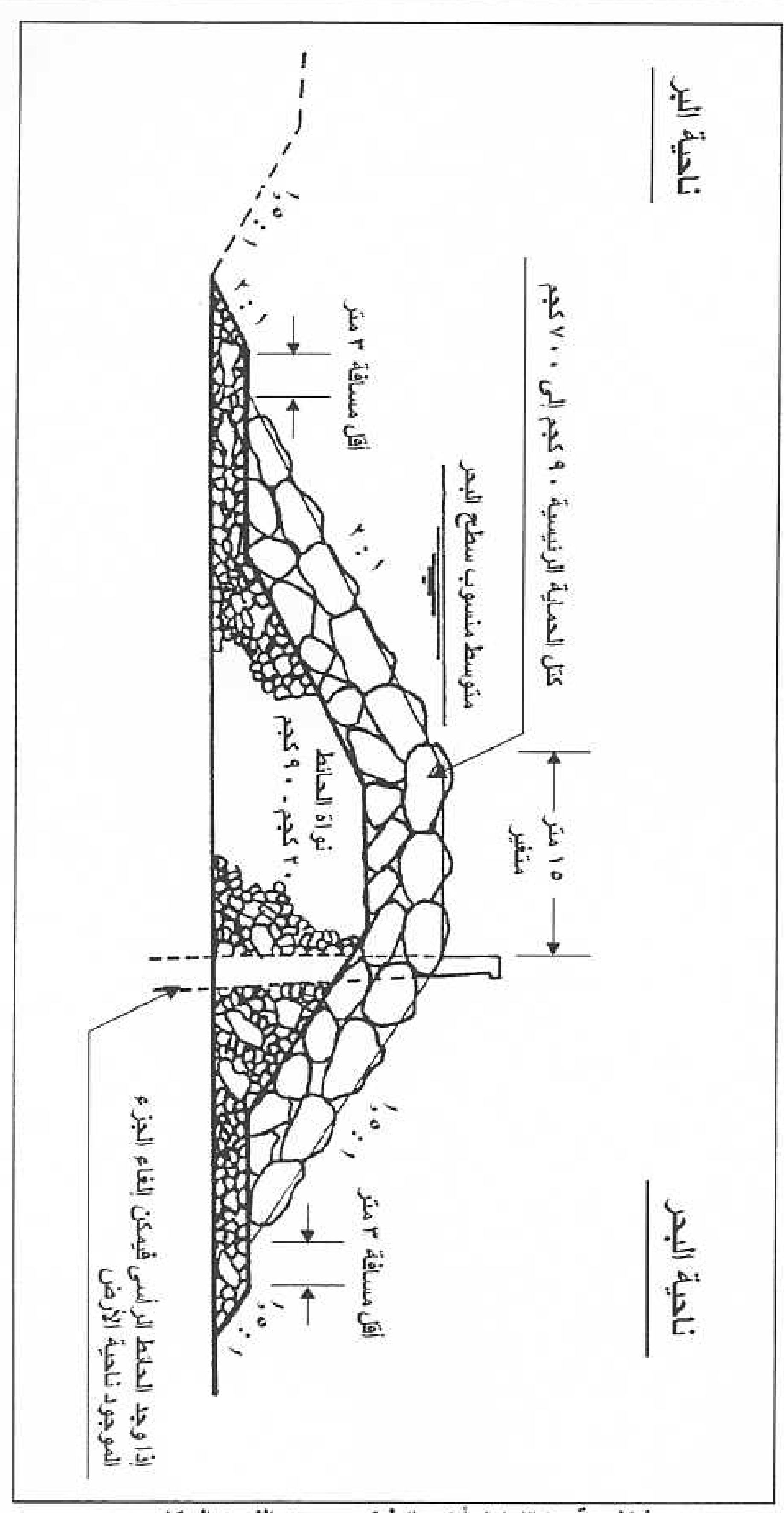


شكل رقم (٣-٤٢) حائط خرسانى مدرج

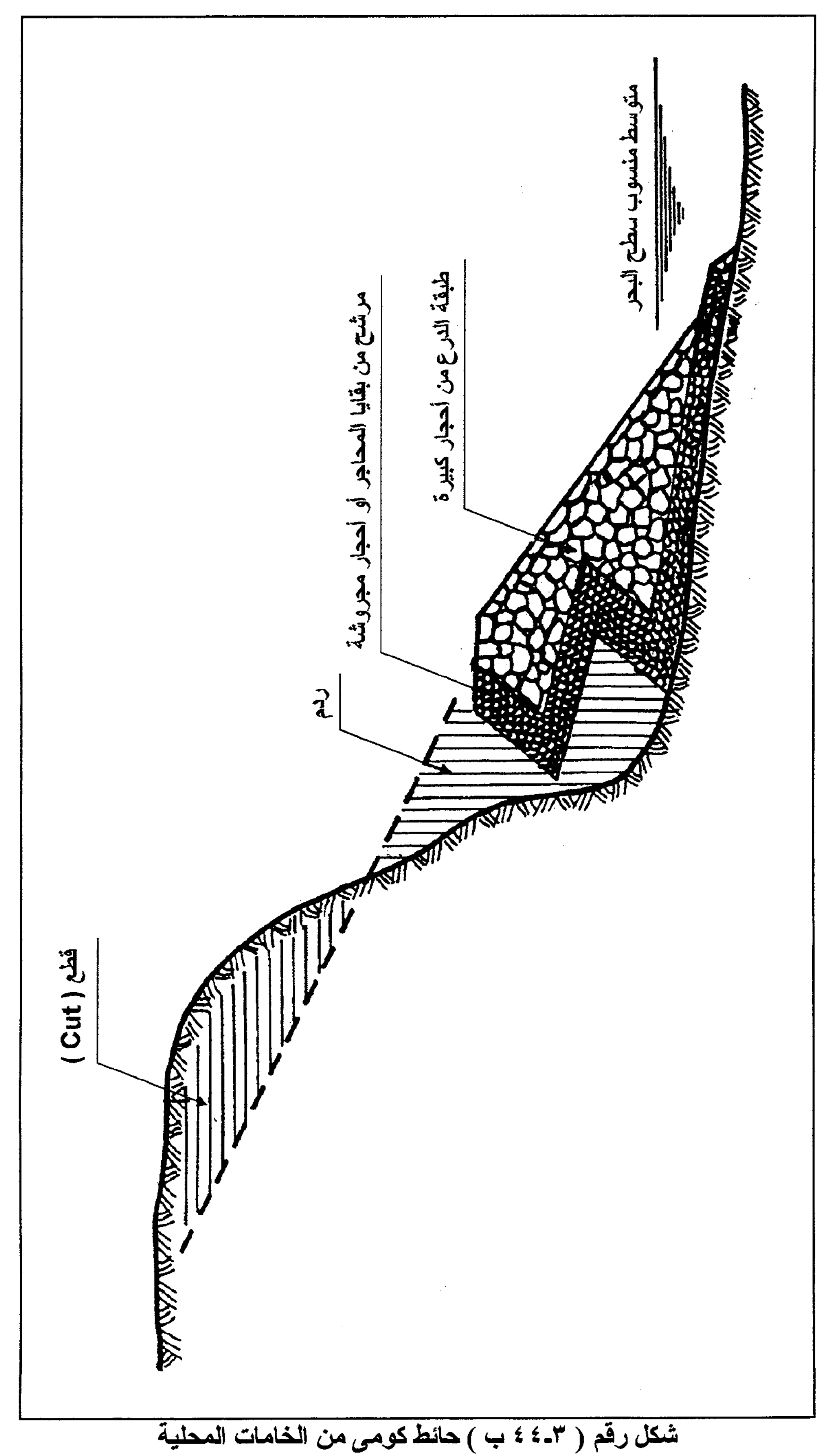


شكل رقم (٣-٤٣) حائط خرسانى مقعر ومدرج

أما الحوائط الركامية (Rubble Mound) شكل رقم (٣-٤٤أ) فهي تنشأ لمقاومة الأمواج العالية والقوية وهى مكونة من بقايا المحاجر مغطاة بطبقة الحمايه الرئيسية (الدرع) لمقاومة الأمواج والميول الجانبية تجاه البحر يجب أن تكون ذو انحدار بسيط (Gentle Slope) أما من جهة الأرض فلا مانع أن يكون الانحدار شديداً (Steep slope) وقد يستعاض في بناء هذا النوع من الحوائط بالمواد الموجودة في الموقع لتقليل التكاليف شكل رقم (٣-٤٤ب).



شكل رقم (٣-٤٤ أ) حائط كومى من النوع الركامى



شكل رقم (٣-٤٤ ب) حائط كومي من الخامات المحلية

٣-٣-٤-٢ تأثير الحوائط البحرية على المنطقة الشاطئية

الأشكال أرقام (٣-٣-٤٥،٣-٤٦،٣-٤٧) توضح تأثير الحوائط البحرية على المنطقة الشاطئية ومنها يتبين وجود ترسيبات من ناحية الـ (Updrift) ونحر من ناحية الـ (Downdrift) وأمام الحائط ثم يتبع ذلك ترسيبات مكونة بروز (Protrude) يمتد داخل البحر.

والشكل رقم (٣-٤٥) يوضح آلية مايحدث في منطقة الحائط وما يجاورها حيث يبين هذا الشكل أن الأمواج الساقطة (Incident) عند تقدمها من داخل البحر تجاه الشاطئ المقام عليه الحائط يحدث لها انكسار (Refraction) فتهاجم الحائط بزاوية ، وكذلك تحدث الخاصية نفسها للأمواج المنعكسة من الحائط في المنطقة "B" عند تقدمها إلى داخل البحر ويبين هذا الشكل الخطوط العمودية (Orthogonal) على قمم هذه الأمواج عند بداية ونهاية الحائط وتقاطعها داخل البحر محدثة ما يسمى بالـ (Wave Caustic) حيث ينتج عنها تركيز عال لطاقة الأمواج ينشأ عنه تكسر الأمواج (Wave Breaking) الساقطة والمنعكسة وبالتالي فإن منطقة "D" الواقعة في ظل (Shadow) منطقة التكسر يوجد عندها منطقة منخفضة الطاقة.

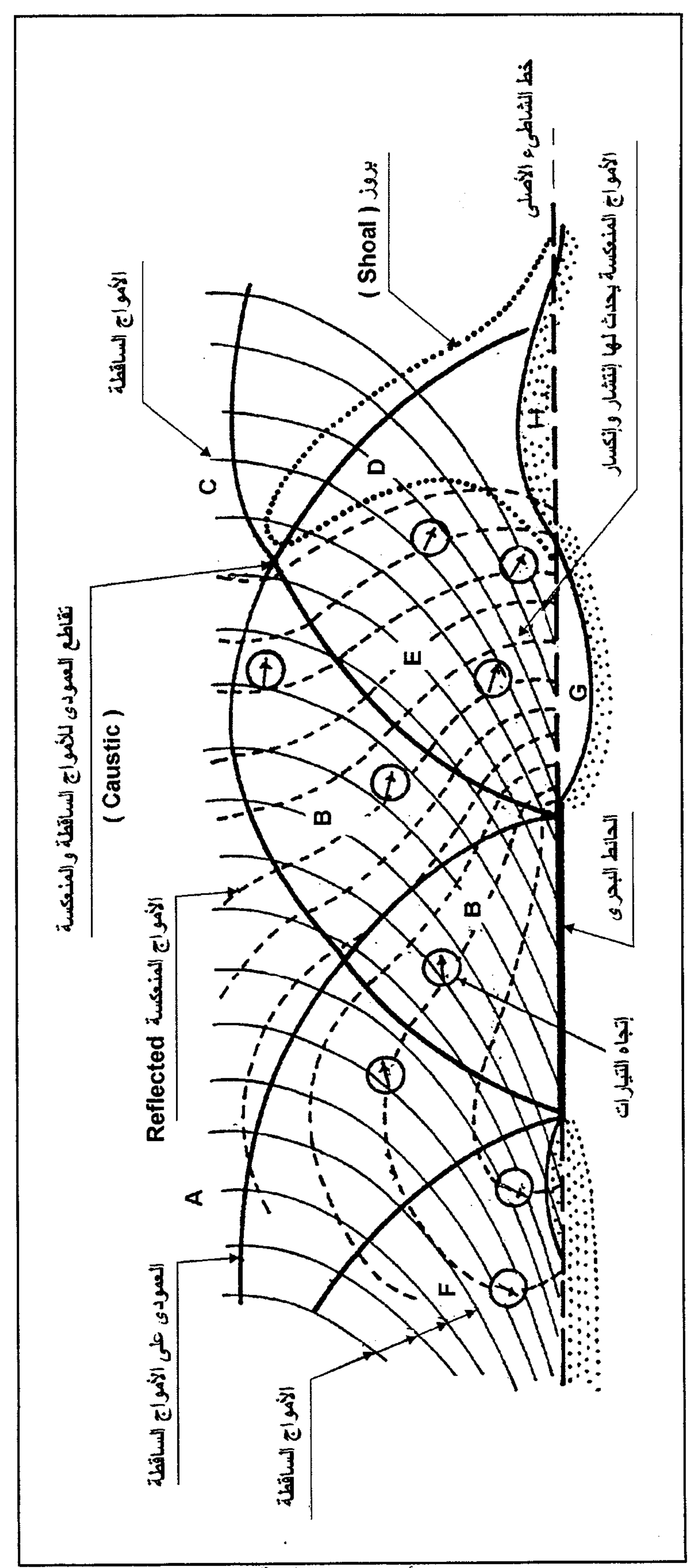
ويتولد عن الأمواج المتكونة في المنطقة "B" الواقعة أمام الحائط شكل رقم (٣-٤٥) تيارات تقوم بتحريك المواد الرسوبية إلى جهة اليمين محدثة نحر أمام الحائط كما هو واضح كذلك في الشكل رقم (٣-٤٧) وقد ينتج عن ذلك النحر انهيار قدمة الحائط الرأسي أو الشبه رأسي. وفى المنطقة "E" الواقعة على يمين المنطقة "B" فإن الأمواج المنعكسة يحدث لها انتشار (Diffraction) وانكسار (Refraction) في اتجاه الشاطئ يتولد عنهما تيارات تتحرك في كلا من الاتجاهين الموازي والمتعامد مع خط الشاطئ محدثة نحر بالشاطئ في المنطقة "G".

أما منطقة "D" ذات الطاقة المنخفضة فتقل بها قدرة التيار على حمل الرسوبيات مما يجعلها تترسب مكونة منطقة ترسيبات "H" وقد تزيد هذه الترسيبات وتكون بروز داخل البحر (Protrude) شكل رقم (٣-٤٥).

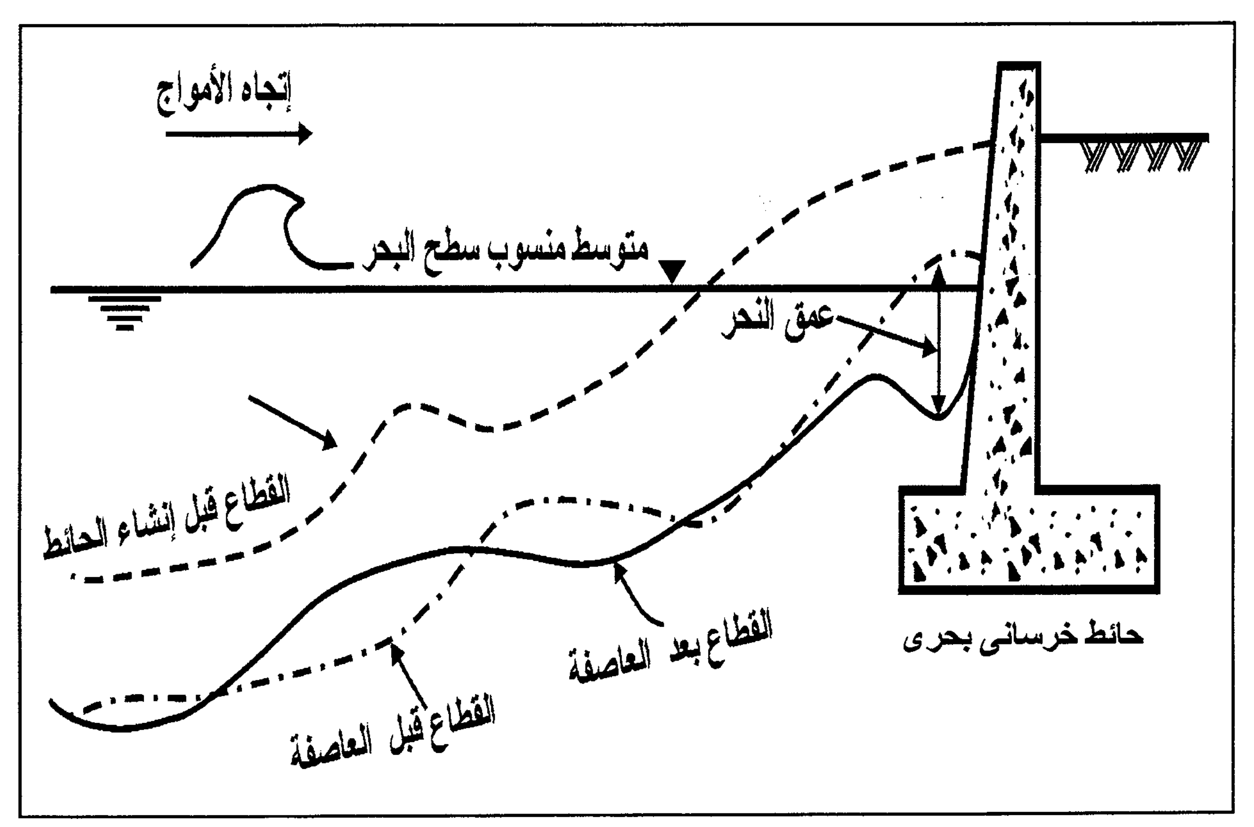
وقد يتبادر إلى الذهن أنه يمكن التغلب على النحر الواقع بين الحائط ومنطقة الترسيب "H" عن طريق مد الحائط إلى اليمين في هذه المسافة ولكن هذا الإجراء سوف ينقل بدوره منطقة النحر إلى اليمين. هذا مع الملاحظة أنه قد يمكن التغلب علي ذاك باستخدام إحدى الطرق الأخرى لبناء الشاطئ مثل الرؤوس البحرية الانتقالية (Transition Groin System) [يرجع إلى البند (٣-٣-١-٤-٢)].

ويتوقف عمق النحر أمام الحائط على كل من ارتفاع الموجة الساقطة ومدة إستمراريتها وقدرة الحائط على عكس الموجة (Reflection) وطبيعة مواد القاع أمام الحائط. وقد اتضح من التجارب الحقلية والمعملية أن أقصى عمق نحر أمام الحائط يساوى تقريبا الارتفاع المكافئ للموجة الساقطة (Incident Significant Wave Height) وأن كمية المواد الرسوبية آلتي تتآكل تساوى كمّا (quantity) تلك آلتي تتآكل في حالة عدم وجود الحائط.

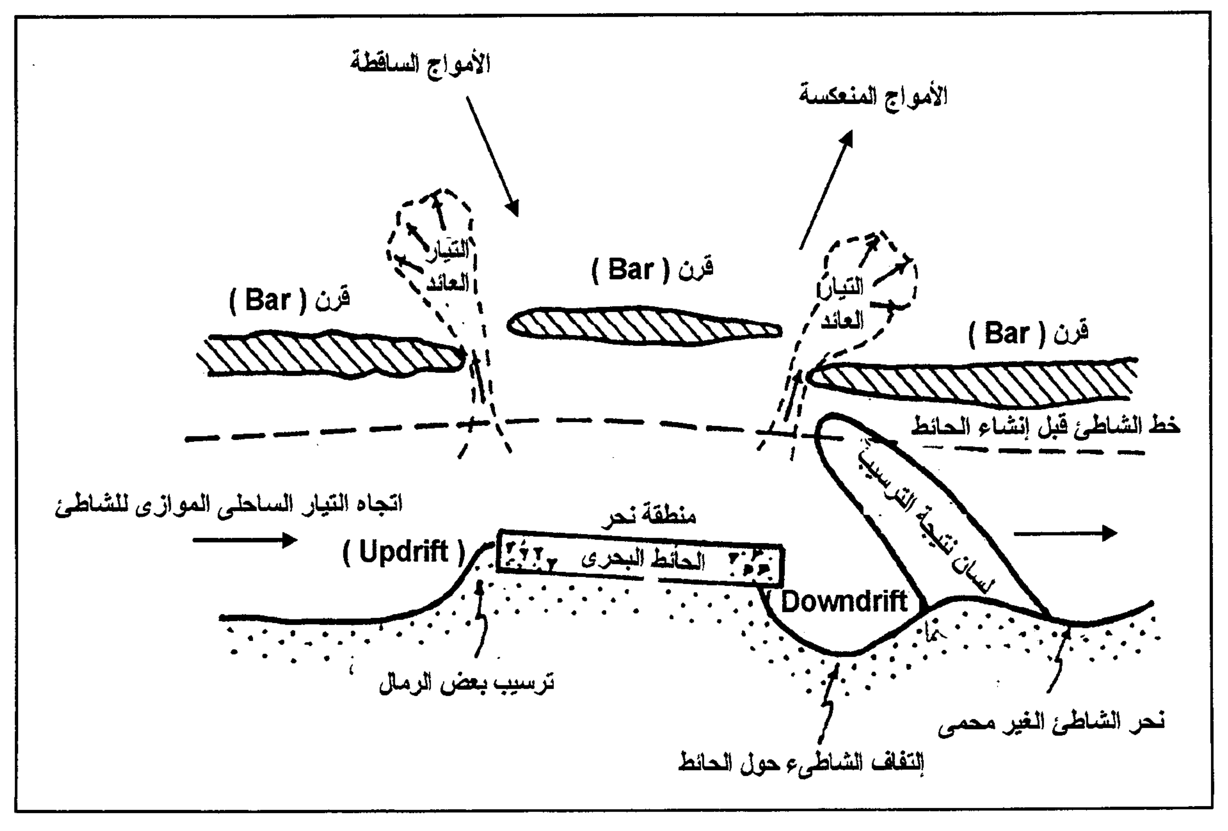
وقد تعمل الحوائط عمل الرؤوس البحرية العريضة (Broad Groins) من حيث حجز الرسوبيات في منطقة الـ (Updrift) وتولد منطقة نحر في الـ (Downdrift) المجاور وقد يؤدى هذا في نهاية الأمر إلى التفاف المياه حول طرف الحائط المجاور للنحر فيتسبب في مشاكل إضافية في هذه المنطقة.



شكل رقم (٣-٥٤) التيارات المتولدة عن الأمواج الساقطة والمنكسرة والمنعكسة والمنتشرة بسبب الحائط البحرى وتأثيره على المنطقة



شكل رقم (٣-٤٦) تأثير الحائط البحرى على المنطقة (مسقط أفقى)



شكل رقم (٣-٤٧) تأثير الحائط على القطاع (قطاع رأسى)

٣-٣-٥ أعمال أخرى لحماية الشواطئ

تعتبر جميع أعمال الحماية التي تم ذكرها في البنود السابقة من هذا الفصل أعمال صلبة (Solid) أي أنها منشآت أغلبها تعترض طريق المواد الرسوبية المتحركة ولذا يكون لها تأثيرات جانبيه على المناطق الشاطئية الأخرى المجاورة لها، لذا يجب استعمالها بحذر شديد وبمتابعة مستمرة لتأثيراتها لإمكان التدخل السريع في الوقت المناسب. وفى البنود التالية سوف نوجز الطرق المرنة (Flexible) التي تكاد تنعدم معها التأثيرات الجانبية السالبة.

٣-٣-٥-١ التغذية بالرمال وتأثيرها على المنطقة الشاطئية

تعتبر الشواطئ في الأساس وسيلة الحماية الطبيعية للمناطق الواقعة خلفها إذا ما تمت المحافظة عليها من الاستخدام الجائر أو الاستنزاف وصيانتها وفقا للمعايير الصحيحة، ذلك لما لها من قدرة على تشتيت طاقة الأمواج دون خلق أي مشاكل جانبيه. ونظرا لأن مشاكل نحر الشواطئ تحدث أصلا من تدخل الإنسان على البيئة وما يسببه من حجب أو نقص لمعدلات ورود الرمال من مصادرها الطبيعية وبالقدر الذي كان يكفل التوازن للشواطئ ، لذا فإن عملية استجلاب الرمال من خارج المنطقة الشاطئية وإضافتها سواء ميكانيكيا أو هيدروليكيا لمكونات الشاطئ المراد حمايته-- وهي التي تعرف باسم "التغذية الصناعية"--إنما تعتبر العنصر الأساسي لاتزان الشاطئ، وفى هذه الحالة تكون الوسائل المستخدمة الأخرى لحماية الشواطئ – إن وجدت- بمثابة عوامل مساعده. ومن الطبيعي ألا ينظر لعملية التغذية بمفردها أنها الحل الجزري النهائي لمشكلة النحر ولكن يتطلب الأمر تعويض المفقود من تلك الرمال بصفة دورية.

ومن الممكن أحيانا لتوفير تكاليف توزيع الرمال المستوردة على كامل الشاطئ إجراء عملية التغذية بوضع كميات الرمال في نقاط قليلة بمنطقة الـ (Updrift) وتركها للعمليات الشاطئية التي تقوم بتوزيعها على كامل المنطقة.

وجدير بالذكر أنه إذا توفر مصدر للرمال المناسبة لعملية التغذية الصناعية وبالرغم من ضرورة إجراءها بصفة دورية "متكررة" على الشاطئ المراد حمايته فإنه من الممكن استخدام هذا الأسلوب للحفاظ على الشواطئ وبيئتها الطبيعية على نحو سليم وبتكاليف قليلة بالمقارنة بالطرق الأخرى التي تم ذكرها في البنود السابقة. هذا بالإضافة إلي المزايا الأخرى التي تصاحب هذا الأسلوب مثل عمل شواطئ فسيحة يمكن استخدامها في أنشطة السياحة والاستجمام و التريض. لذلك ليس من المستغرب أن يتم حماية ما يربو عن ٧٥٪ من أعمال حماية الشواطئ في الولايات المتحدة باستخدام هذا الأسلوب.

ومن الملاحظ أنه كثيرا ما تستخدم الرؤوس البحرية (Groins) كعامل إضافي مع التغذية الصناعية لتقليل معدلات فقد الرمال ومن ثم زيادة فترات عمليات تعويض الفاقد.

٣-٣-٥-١-١ تخطيط مشروعات الشواطئ المحمية (Protective Beach)

يتطلب تخطيط مشروعات حماية الشواطئ باستخدام التغذية الصناعية بالرمال توفر المعلومات الآتي بيانها:-

أ - تعيين اتجاه حركة الرسوبيات ومعدلات تناقصها:-

جدير بالذكر أن طرق حساب كميات واتجاه حركة المواد الرسوبية قد تم شرحها في البنود (٣-٢-٤ ، ٣-٢-٥). وأنه من المعلوم إذا لم يكن هناك مورد طبيعي كافي للرمال يكفل اتزان المنطقة الشاطئية وأن حمايتها صار مطروحا فمن الممكن – ففي مثل هذه الأغراض العملية – اعتبار أن

المعدل الصافي المطلوب إضافته للرسوبيات المتحركة في الاتجاه الموازي للشاطئ حتى نعيد له اتزانه مساويا لمعدل تناقص الشاطئ تحت الدراسة. لذلك فإنه يمكن تقدير معدلات الرسوبيات المتحركة في اتجاه موازى للشاطئ المطلوبة للتغذية من مقارنة أعمال المساحة الخاصة بمتابعة النحر والترسيب لفترات زمنية طويلة ومن ثم فإنه يجب تجميع البيانات المساحية قبل وبعد إنشاء أي مشروع. وفى حالة عدم توافر هذه البيانات فإنه يجوز إجراء حسابات تقريبية لها من تحرك خط الشاطئ المستقى من الصور الجوية. وللقيام بهذه العملية فلا مناص من استخدام العلاقة الفرضية التقريبية التي مفادها أن كل متر واحد(١م٢) تغير في المساحة السطحية للشاطئ يعادل ثمانية أمتار مكعّبة (٨م٣) من رمال الشاطئ . وذلك بفرض أن الشاطئ النشط يمتد حوالي ٨ م في المنسوب (Elevation) . مع تصحيح هذه العلاقة طبقا لموقع الشاطئ وما يمكن جمعه من بيانات حقليه.

ب - وصف طبيعة مواد الشاطئ :-

لمعرفة الخصائص الطبيعية لرمال الشاطئ فإنه يجب أخذ عينات على مدار العام وعلى الأقل مرتين أحدهما في الشتاء والأخرى في الصيف وتحليلها ميكانيكيا ثم تحديد ما يسمى بالمركب المحلى (Native Composite) وهو عبارة عن متوسط نتائج جميع العينات التي يتم الحصول عليها.

ج - اختيار المواد المستخدمة في التغذية الصناعية :-

يتم اختيار أنسب مواد التغذية بعد تحديد المركب المحلى لرمال الشاطئ الطبيعية والمعرضة للعمليات الشاطئية التي تقوم بإعادة توزيع رمال التغذية الصناعية فيتم نقل المواد الناعمة منها تجاه البحر حيث تفقد في المياه العميقة وتترك الرمال الخشنة عند منطقة التكسر وتغطى بالرمال المتوسطة معظم سطح المنطقة وإذا كانت هناك بقايا من قواقع أو ما على شاكلة ذلك فإنها تتكسر ويحدث لها صنفرة أو برد (Abrade). وبتتابع تأثير العوامل البحرية من أمواج وتيارات ومد وجزر على رمال التغذية الصناعية تتحول وتصبح مشابهة إلى حد ما لرمال الشاطئ الأصلية.

أما رمال التغذية الصناعية التي تحتوى على مواد عضويه أو كمية كبيرة من الرمال الناعمة فإن العوامل الطبيعية البحرية تقوم بغسلها وتنظيفها ، وإذا كانت رمال التغذية الصناعية أخشن من الرمال الأصلية فإنها تبقى في مكانها مسببه ميول أو انحدار أكبر (Steep Slope) لميل الشاطئ الأصلي، وقد يكون هذا غير مستحب بالنسبة لبعض الحالات. كذلك فإن شكل الحبيبات ودرجة حدة أطرافها (Angularity) ومكوناتها المعدنية قد تكون ذات تأثير هام على توزيعها . وفى حالة توافق رمال التغذية الصناعية مع الرمال الأصلية الموجودة بالمنطقة فإن كمياتها تحدد لحد بعيد بصورة مباشرة من أبعاد مشروع الحماية المطروح . مع الأخذ في الحسبان فقد نسبة ضئيلة من رمال التغذية أثناء عملية التنفيذ ذاتها. أما في حالة عدم توافق الرمال المنقولة مع الرمال الأصلية فيتم حسابها بإحدى الطرق التقريبية بناء على النتائج المستقاة من الطبيعة وذلك على النحو التالي:-

I - تحديد معامل الملأ [Overfill Factor (R_A)]:-

وهو عبارة عن عدد الأمتار المكعبة من المواد المطلوب إضافتها لإنتاج متر مكعب واحد (١م٣) من الرمال المتوافقة مع تربة الموقع الأصلية.

والعلاقة بين R_A وخصائص الرمال المضافة والرمال الأصلية معطاة بالشكل رقم (٣-٤٨) حيث :

$\sigma\phi$ = الحيود المعياري Standard deviation

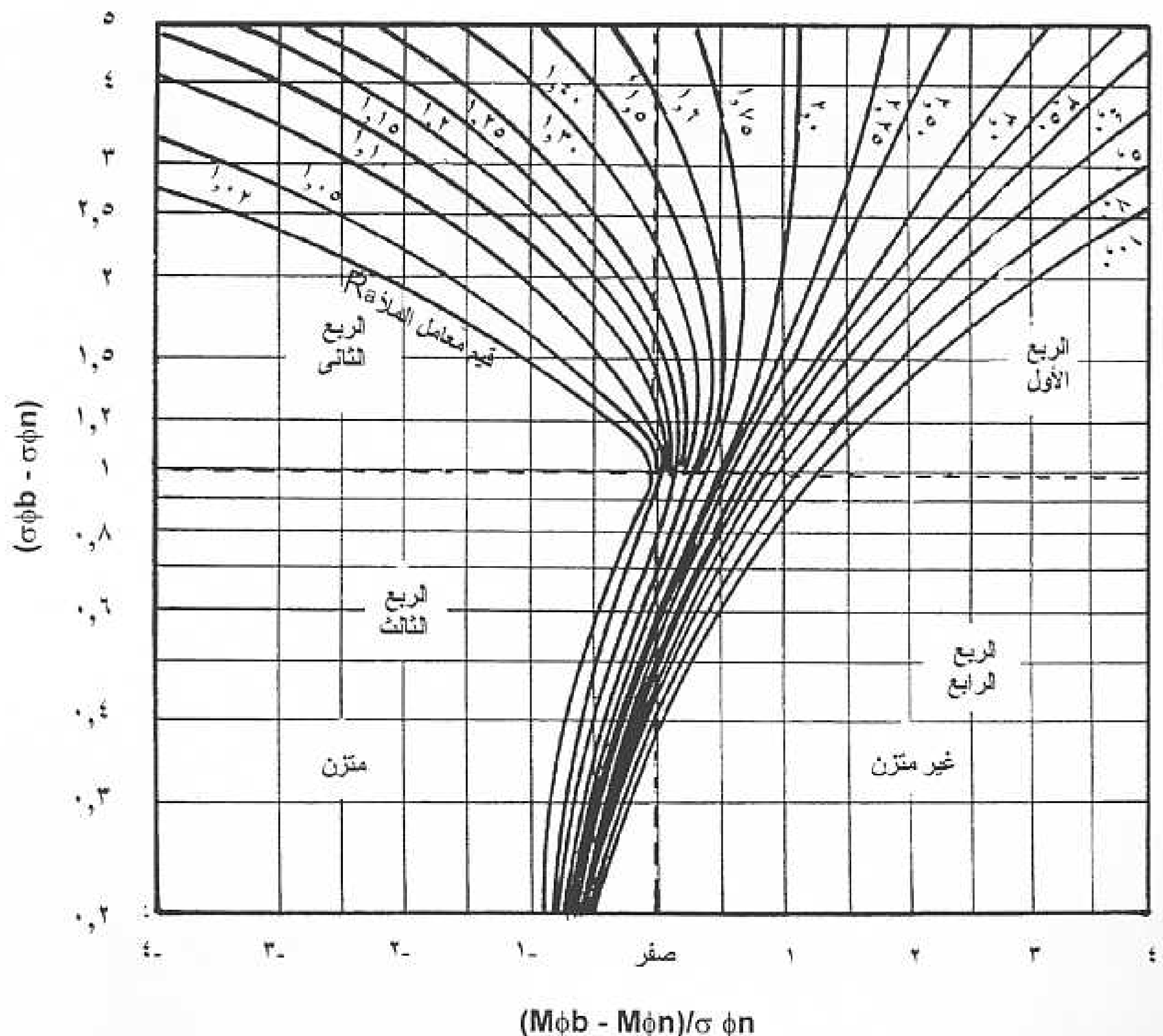
$$\therefore \sigma\phi = (\phi_{84} - \phi_{16})/2 \qquad (3\text{-}84)$$

$M\phi$ = متوسط قطر الحبيبات مقاسا بالـ ϕ

$$\therefore M\phi = (\phi_{84} + \phi_{16}) / 2 \qquad (3\text{-}85)$$

b = تشير إلى الرمال المضافة أو المنقولة.
n = تشير إلى رمال الشاطئ الطبيعية.
ϕ_{84} = قطر الحبيبات عند نسبة ٨٤٪ مقاسا بالـ ϕ
ϕ_{16} = قطر الحبيبات عند نسبة ١٦٪ مقاسا بالـ ϕ

ويبين الشكل رقم (٣-٤٨) مجال الأربع احتمالات للخليط الناتج من الرمال المضافة والرمال الأصلية للشاطئ وهو الموضح بالجدول رقم (٣-٣).



شكل رقم (٣-٤٨) خطوط تساوى معامل الملأ (R_n) لقيم المتوسط ϕ
ونسب الحيود المعيـــارى (Sorting)

جدول رقم (٣-٣) العلاقة بين متوسطات الحيود الأمثل للـ (Phi) لكل من رمال التغذية والرمال الطبيعية

مسلسل	المربع الواقع فيه (شكل رقم ٤٨)	العلاقة مع متوسط الـ Phi	العلاقة مع الحيود الأمثل للـ Phi
I	١	$M\phi b > M\phi n$ رمال التغذية أنعم من الرمال الطبيعية	$\sigma\phi b > \sigma\phi n$ رمال التغذية أفقر من ناحية النوع (Sorting) عن الرمال الطبيعية
II	٢	$M\phi b > M\phi n$ رمال التغذية أخشن من الرمال الطبيعية	
III	٣	$M\phi b > M\phi n$ رمال التغذية أخشن من الرمال الطبيعية	$\sigma\phi b > \sigma\phi n$ رمال التغذية أحسن وأفضل (Better) من النوع (Sorting) من الرمال الطبيعية
IV	٤	$M\phi b > M\phi n$ رمال التغذية أنعم من الرمال الطبيعية	

II - معامل إعادة التغذية [Re-nourishment Factor (R_J)] :-

وهو عبارة عن النسبة بين معدل نحر المواد المضافة إلى معدل نحر المواد الأصلية للشاطئ ويعين بالمعادلة التالية :

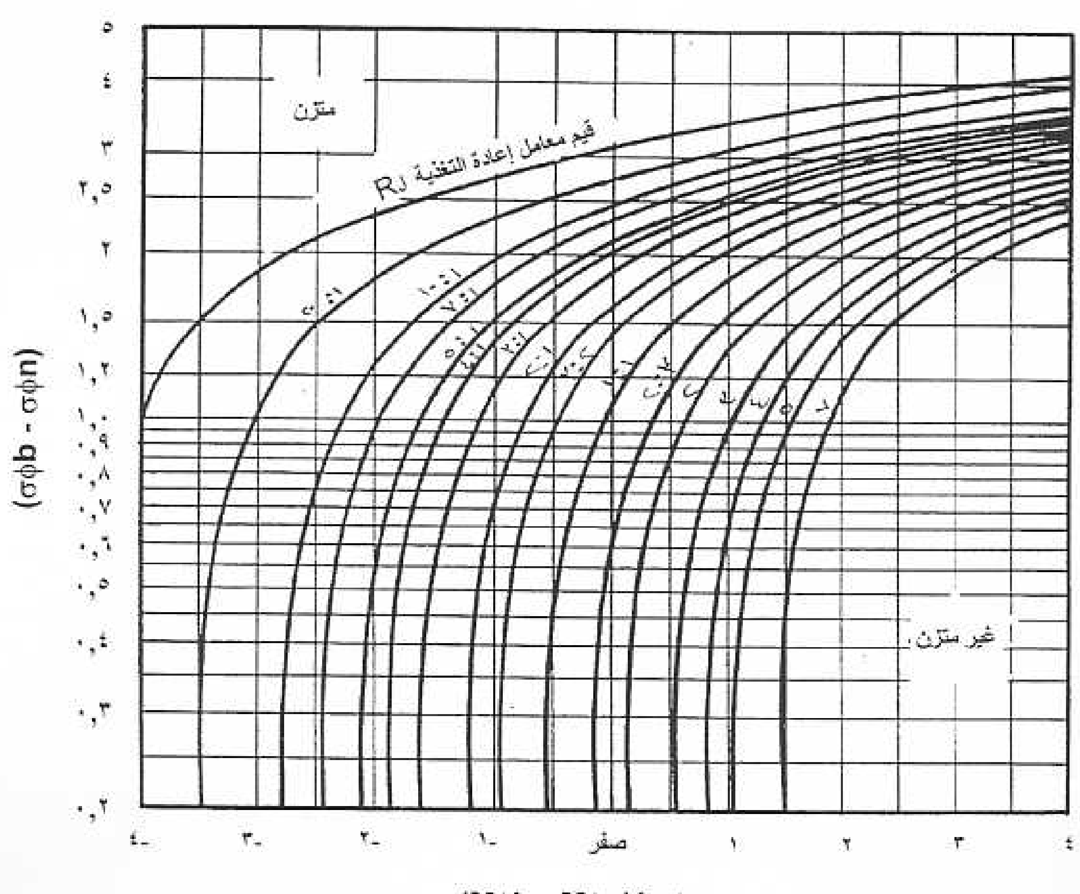
$$R_J = \exp\left[\Delta\left(\frac{M\phi b - M\phi n}{\sigma_{\phi n}}\right) - \frac{\Delta^2}{2}\left(\frac{\sigma^2 \phi b}{\sigma^2_{\phi n}} - 1\right)\right] \qquad (3\text{-}86)$$

حيث Δ هو معامل التذرية (Winnowing) ويمثل مقياس الفرق بين متوسط الـ (Phi) للمواد الغير قابلة للنحر وتلك النشطة لمواد الشاطئ الطبيعية والقابلة للنحر وقيمته محصورة بين ٥ر٠ ، ٥ر١ ويمكن التوصية لتكون Δ = الواحد الصحيح في حالة عدم معرفة خواص التربة الغير قابلة للنحر. والشكل رقم (٣-٤٩) يبين المعادلة الأخيرة في حالة Δ = الواحد الصحيح.

وعلى ذلك فالشكل رقم (٣-٤٨) يستعمل لتحديد الكميات المبدئية اللازمة لإجراء التغذية الصناعية لأول مرة. بينما يبين الشكل رقم (٣-٤٩) المعدل السنوي المطلوب إضافته للتغذية نتيجة الفقد.

وفى حالة وجود مواد أنعم (Finer) من الرمال التي تعتبر غير متزنة على الشاطئ فإنه يمكن تعديل قيمة R_A لتصبح R_G على النحو التالي :-

$$R_G = R_A \times 100 \quad \% \text{ of Sand} \qquad (3\text{-}87)$$



شكل رقم (٣-٤٩) خطوط تساوى معامل إعادة التغذية (R_J) لقيم الفرق المتوسط للـ φ ونسب الحيود المعيارى (sorting) عندما تكون $\Delta = 1.0$

٣-٣-٥-١-٢ طريقة حساب الكميات المطلوبة

يوضح الجدول رقم (٣-٤) الخطوات الواجب إتباعها لحساب كميات الرمال اللازمة للتغذية والمعدلات السنوية اللازمة لتعويض الفاقد.

جدول رقم (٣-٤) طريقة حساب الكميات المطلوبة

البيان	مصدر الرمال		
	الرمال الطبيعية للشاطئ	مصدر رقم ١	مصدر رقم ٢
١ - خواص الرمال :			
ϕ_{16}	١,١٠	٠,٥٨	١,٢٢
ϕ_{84}	٢,٧	٢,٥٤	٢,٦٦
متوسط $M\phi$	١,٩	١,٥٦	١,٩٤
الحيود الأمثل σ	٠,٨	٠,٩٨	٠,٧٢
$\sigma\phi_b/\sigma\phi_n$	---	١,٢٣	٠,٩٠
$(M\phi_b-M\phi_n)/\sigma\ \phi_n$	---	٠,٤٣-	٠,٠٥
نسبة الرمال ٪	١٠٠	٨٩	٩٥
٢ - العوامل المختلفة :			
عامل الملء Overfill Factor R_A شكل رقم ٤٨	----	١,٠٠	١,٢
عامل الملأ المعدل R_G معادلة رقم (٣ - ٨٧)	----	١,١٢	١,٢٦
عامل المعدل السنوي للإضافة R_j معادلة رقم (٣ - ٨٦)	----	٠,٥١	١,١٦
٣ - الكميات الأساسية :			
- المطلوبة لتغذية الشاطئ م٣ (بناء على أبعاد الشاطئ المطلوب)	٦,٠٣٣,٠٠٠	----	----
- معدل الفقد من الشاطئ م٣/سنة	٢٣٢,٠٠٠	----	----
- الكميات المطلوبة :			
التغذية الصناعية م٣ = (R_G × التغذية)	----	٦,٧٥٧,٠٠٠	٧,٦٠٢,٠٠٠
المعدل السنوي لزيادة التغذية الصناعية = (R_J × معدل الفقد) م٣/ سنة	----	*٢٣٢,٠٠٠	٢٦٩,٠٠٠

* نظرا لصغر معامل المعدل السنوي للإضافة وهو ٥١ر٠ وللاحتياط فقد اعتبرت $R_J = 1$.

٣-٣-٥-٢ استنبات منطقة الشاطئ وتأثيرها على ما حولها

استنبات المنطقة الشاطئية – ويقصد بها استزراعها بالنباتات التي تتحمل ملوحة مياه البحر- يعتبرها البعض إحدى الوسائل العملية لمقاومة ظاهرة فقدان الرمال من الشواطئ (النحر) أو على الأقل التقليل من حدّتها وذلك لأن جذور تلك النباتات تثبّت تربة الشاطئ لتشعبها الكثيف والذي يمتد طولا وعرضا بمسطح الشاطئ كما يمتد رأسيا داخل تربة الشاطئ أسفل قاع البحر. كما وأن النباتات المستزرعة تعمل

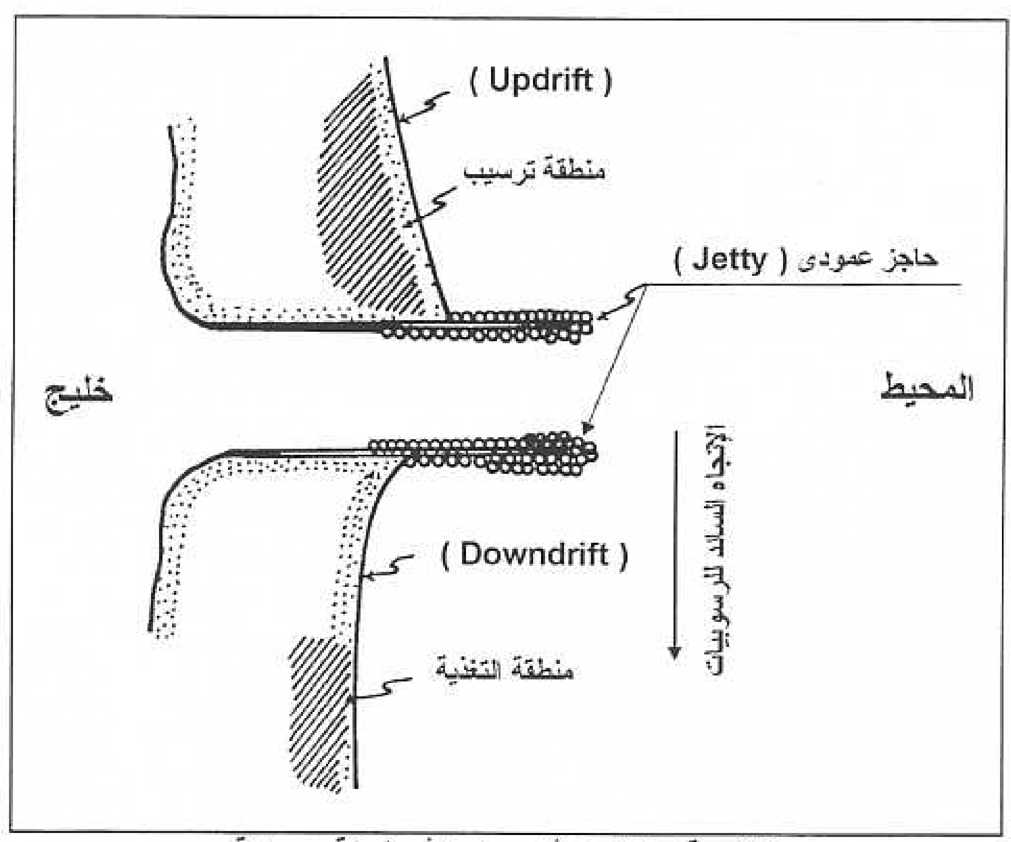
هي الأخرى على تجميع الرمال أعلى منسوب الشاطئ. وتتميز الحماية بهذه الطريقة - إن أمكن تنفيذها – بأنها ليس لها آثار جانبية على المنطقة ذاتها - والى حد بعيد- على المناطق المجاورة.

وأنواع وفصائل النباتات التي تستطيع النمو في جو البحر القاسي قليلة جدا ولكن النباتات التي تزدهر وتنمو على طول الشاطئ فإنها تتأقلم دائما مع البيئة الساحلية من حيث تعرضها لأشعة الشمس واختلاف درجات الحرارة والرطوبة وإلى الغمر بواسطة المياه المالحة أو الجفاف في بعض الأحيان. ونبات الريزوم من النباتات الطويلة العمر ولها القدرة على احتمال الجو المشبع بالملح وهي عبارة عن ساق تشبه الجذر العريض وله القدرة على النمو السريع كما وأنه يوجد نوع أو أثنين من حشائش الشاطئ (Beachgrass) التي تنمو بكثرة على الشواطئ الأمريكية مثل : الحشائش الأمريكية والمعروفة باسم أموفيلا- بريفيليجولاتا والحشائش الأوربية والمعروفة باسم أموفيلا واريناريا وشوفان البحر وحشائش البانك (Panic) وأشجار المانجروف (Mangrove) ويمكن استزراع هذه النباتات عن طريق أما التقاوي التي يحملها الهواء في أغلب الأحيان من مكان إلى مكان أو عن طريق التطعيم (Trans plants).

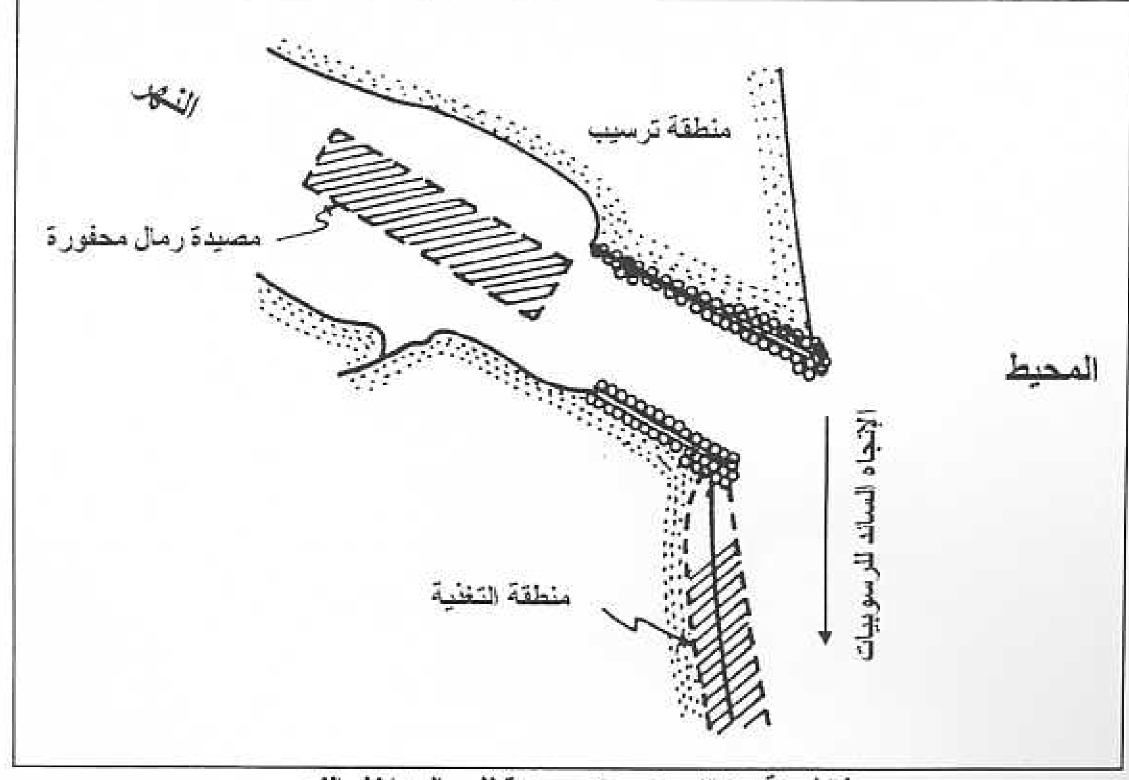
٣-٣-٥-٣ تمرير الرمال وتأثيرها على المنطقة الشاطئية

يقصد بتمرير الرمال (Sand By-passing) العملية الميكانيكية المستمرة التي بمقتضاها يتم نقل كميات معينة من الرمال تتجمع دوما في منطقة ترسيب إلى منطقة نحر لإعادة الاتزان الديناميكي إلى شاطئ نشط، كثيرا ما يكون قد فقد الاتزان نتيجة لتدخل الإنسان بإنشاء عمل صناعي في المنطقة أخلّ بنظام حركة الرسوبيات المارة بها. وعادة توجد منطقتي الترسيب والنحر في موقع أعلى التيار (Updrift) وفي موقع أسفل التيار (Downdrift) بالترتيب نسبة إلى موقع العمل الصناعي، الذي قد يكون رأس بحري أو حاجز أمواج أو فتحة ميناء أو بوغاز ...... الخ.
والشكل رقم (٣-٥٠) يوضح بعضا من أنواع الحواجز (Barriers) التي يجرى استخدامها بكثرة لتحسين (الملاحة أو الاتصال المائي) خلال الفتحات البحرية ومخارج المياه أو الموانى ويتسبب عنها ترسيب في منطقة الـ (Updrift) ونحر في منطقة الـ (Downdrift) . وتتم عملية نقل الرمال بإحدى الوسائل الميكانيكية مثل استخدام كراكة ثابتة (Land Based Dredging Plant) تعمل بالقرب من موقع الترسيب وذات مواسير طرد تمتد لموقع النحر لاسيما في حالة البواغيز أو المخارج المائية المزودة بحواجز عمودية شكل رقم (٣-٥٠أ) أو كراكة عائمة (Floating Dredging Plant) ، إذا كانت المنطقة معرضة لأمواج صغيرة أو محمية بواسطة حاجز، أو بواسطة السيارات التى تعمل مع أوناش متحركة . ويمكن القول أنه في أي من حالات التكريك فإنه ليس من السهل تمرير جميع الرمال المترسبة في منطقة الـ (Updrift) . كما يعتبر استخدام مصائد الرمال داخل المجرى المائي أو داخل الميناء شكل رقم (٣-٥٠ب) بمثابة تمرير للرمال ، وهذا الأخير يعد مناسبا عندما يكون التيار المدى للمخرج قويا فتتحرك الرمال إلى داخل المجرى وتترسب في المصيدة ويتم عمل تطهيرا دوريا لها وإلقاء نواتج التطهير في جانب منطقة النحر الـ (Downdrift) وبوضع المصيدة داخل المجرى المحمى من الأمواج يجعل عملية التكريك تتم في أي وقت من العام وتحت أي ظروف من الظروف الجوية الصعبة.

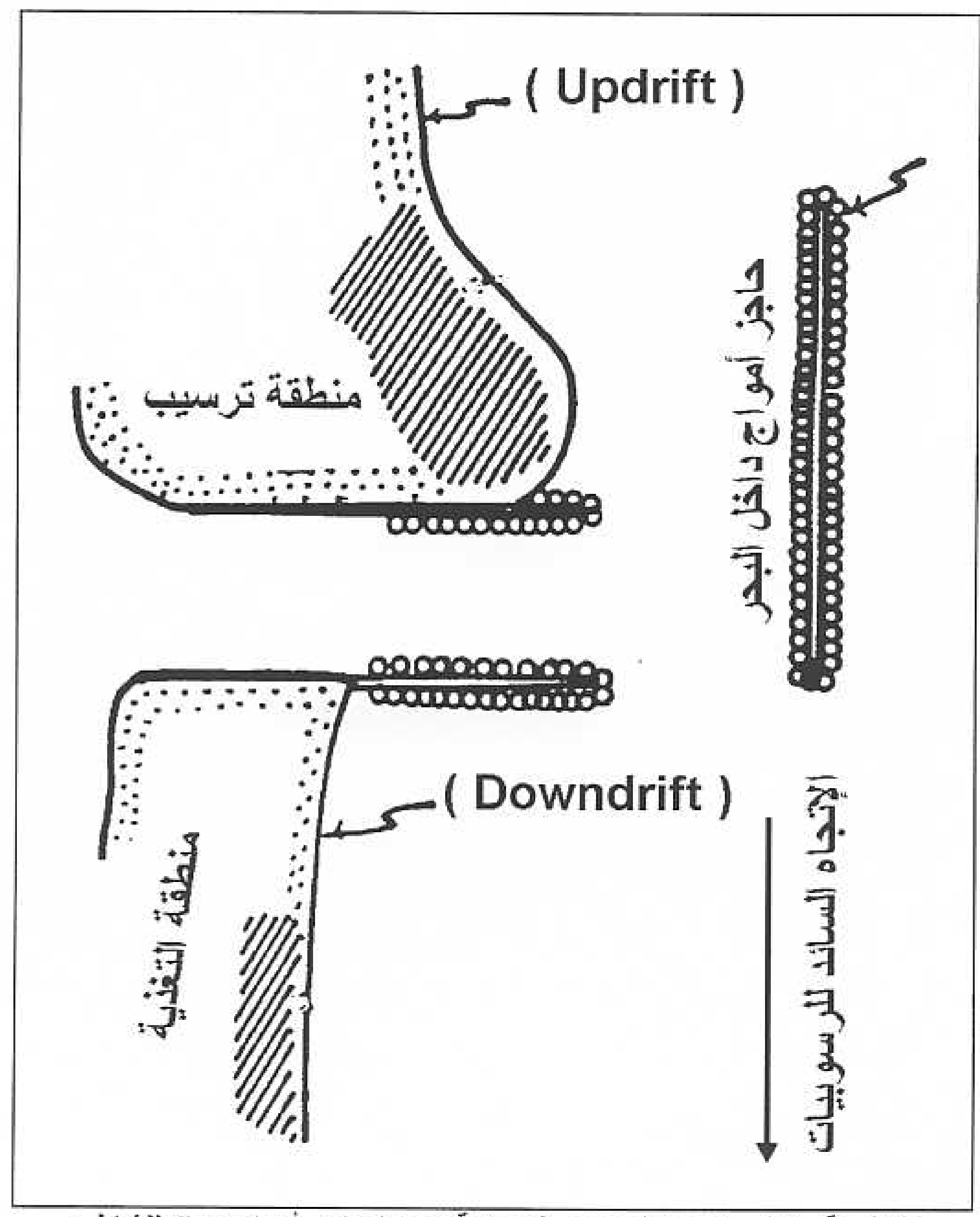
ويمكن استعمال الوحدات العائمة إذا تم استخدام الحواجز العمودية (Jetties) مع الحواجز الموازية للشاطئ (Detached B.W.) شكل رقم (٣-٥٠جـ) حيث أنها سوف تعمل في مأمن بواسطة تلك الحواجز وعمليا فإن هذه الوسيلة تكفل عدم اطماء المدخل وبالرغم من أن هذه الوسيلة تعتبر من أكفأ الوسائل لتحسين المجرى المائي وخصوصا للملاحة إلا أنها أكثرها تكلفة وتتطلب خبرات فنية عالية لإدارتها.



شكل رقم (٣-٥٠ أ) حواجز أو السنة عمودية



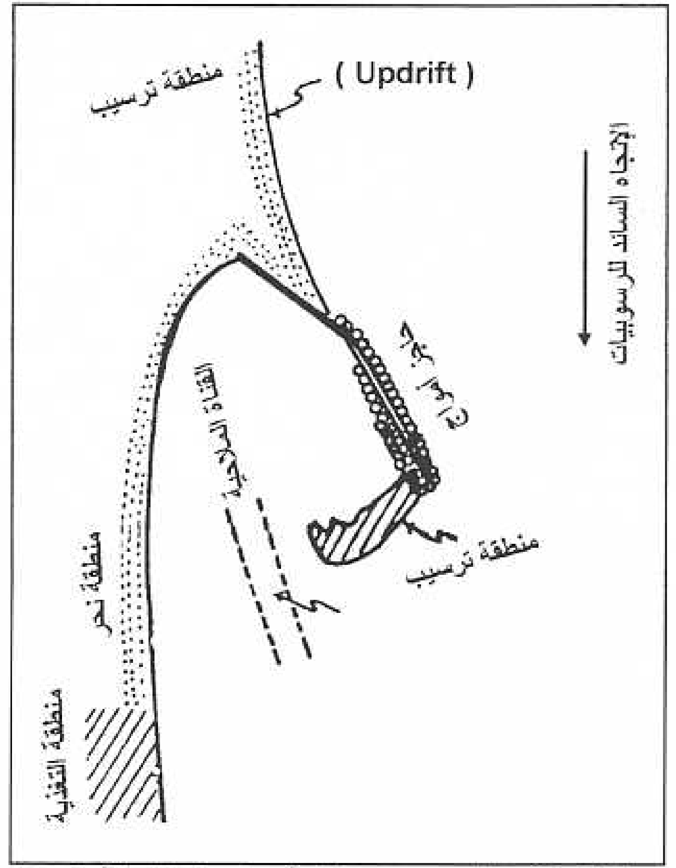
شكل رقم (٣-٥٠ ب) مصيدة للرمال داخل النهر



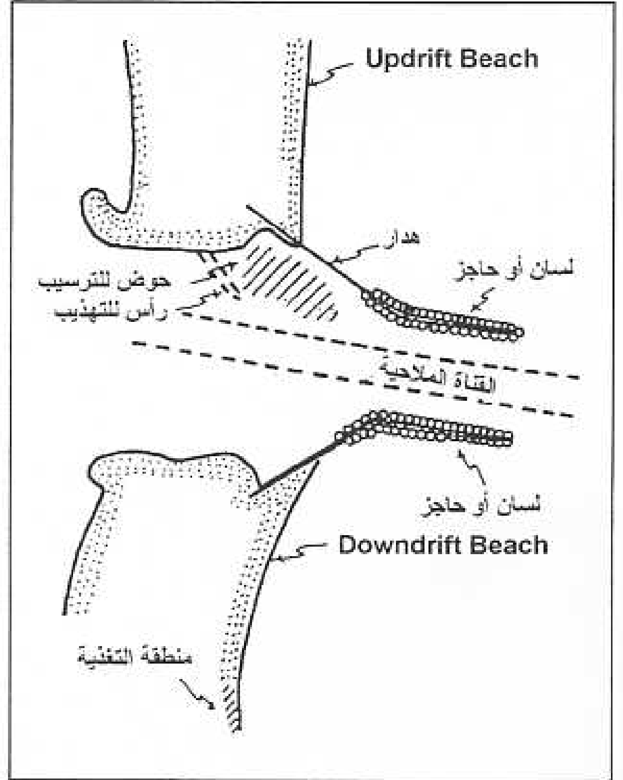
شكل رقم (٣-٥٠ ج) الحواجز العمودية ومعها حاجز أمواج مواز للشاطئ

وفى حالة استعمال حواجز الأمواج المتصلة بالشاطئ (Shore Connected) مع وجود ترسيبات في نهايتها بالبحر شكل رقم (٣-٥٠د) فإنه يمكن استعمال الوحدات العائمة في عملية تمرير الرمال إلا أنها لا تستطيع العمل في الأحوال الجوية الصعبة وخصوصا عند العمل بالقرب من الجزء الخارجي من الترسيبات. كما تجدر الإشارة إلى أنه في جميع الأحوال فإن الرمال المتحركة في اتجاه خط الشاطئ سواء كانت طبيعية أو من نواتج أعمال التطهير سوف يترسب جزء منها داخل القناة الملاحية.

وفى حالة حواجز الأمواج المتصلة بالشاطئ بواسطة الهدارات (Weir Jetty) وحوض الترسيبات خلف الحاجز شكل رقم (٣-٥٠هـ) فإنه يتم استعمال الوحدات العائمة في عملية تطهير الرمال المترسبة أمام الهدار بعرض البحر. وبالتالي فإنه لا يعطى فرصة لترسيب القناة الملاحية. ويعتقد أن فكرة الهدّار الحاجز (Weir Jetty) بعد تجربته على مدى خمسة وعشرون عاما تعتبر ناجحة ومؤثرة جدا في مجال تمرير الرمال.



شكل رقم (٣-٥٠ د) حاجز أمواج متصل بالأرض



شكل رقم (٣-٥٠ هـ) حواجز الحماية مزودة بهدار جانبى وحوض ترسيب

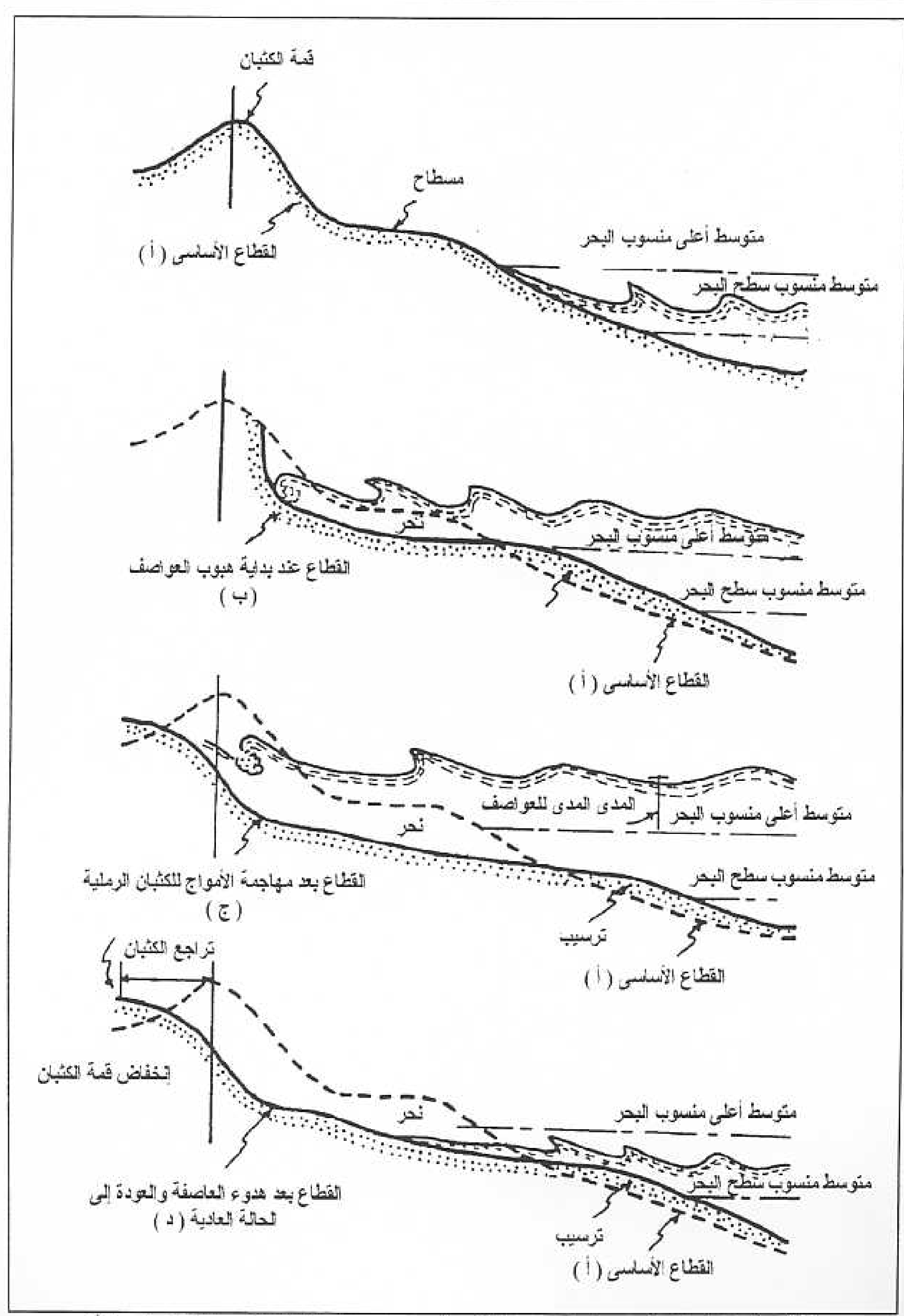
٣-٣-٥-٤ تثبيت الكثبان الرملية وتأثيرها على المنطقة الشاطئية

تعتبر الكثبان الرملية الشاطئية أحد المكونات الهامة في البيئة الساحلية لأنها درعا واقيا من النحر بالنسبة للمنطقة الساحلية، فهي تحول دون الأمواج والمد العالى أثناء العواصف من التقدم وإغراق المناطق الداخلية. هذا فضلا عن أنها بتراكمها بالقرب من الشاطئ تشكل مخزنا للرمال تسحب منه الطبيعة كلما اختل توازن الشاطئ بزيادة الفاقد منه بالنحر عن المكتسب من رمال (أو رسوبيات) الشاطئ، حتى تعيد للشاطئ توازنه، ويتم هذا عندما تهاجم الأمواج العالية الكثبان الشاطئية أثناء فترات العواصف البحرية فتؤدي إلى سحب بعضا منها إلى داخل البحر خلال عملية تشتيت (أو استنزاف) طاقة الأمواج ، ثم يعود جزءا من هذه الرمال مرة أخرى إلى الشاطئ بواسطة الأمواج الطويلة (Swells) ثم إلى الكثبان بواسطة الرياح التي تهب من البحر إلى الأرض.

ومن المعلوم أن معدلات الاستعادة تقل عن معدلات سحبها . وبذلك تكون هناك دورة لرمال الكثبان حيث أنها تفقد بكميات كبيرة خلال العواصف ثم يعود جزء صغير منها بواسطة الأمواج الطويلة والرياح والشكل رقم (٣-٥١) يبين هذه الدورة . ولإمكان المحافظة على تلك الكثبان لأطول فترة ممكنة يجب ألا تقل المسافة بين قاعدة الكثبان (Toe) وبين أعلى منسوب لمياه البحر عن حوالي ٢٠٠ متر.

كذلك تقوم الكثبان الخلفية بنفس المهمة ولكن بدرجة أقل في الأهمية من الشاطئية

كما أن الكثبان المثبتة جيدا بواسطة النباتات المحلية تعمل أيضا كخط دفاع هام ضد نحر التربة بواسطة قوى العواصف. ومع أنه قد ينتج عن تحرك الكثبان الرملية بواسطة الرياح بعض التدمير أو بعض الآثار السلبية لما قد يجاورها من منشآت إلا أن توافر تلك الرمال يشكل حماية للمنطقة الشاطئية بتكاليف زهيدة إذا ما قورنت بتكاليف الأعمال الصناعية الصلبة مثل الرؤوس البحرية والحوائط مثلا.



شكل رقم (٣-٥١) رسم توضيحى لتأثير العواصف على القطاعات والكثبان الرملية

الباب الرابع
تصميم منشآت الحماية

٤-١ خطوات التصميم

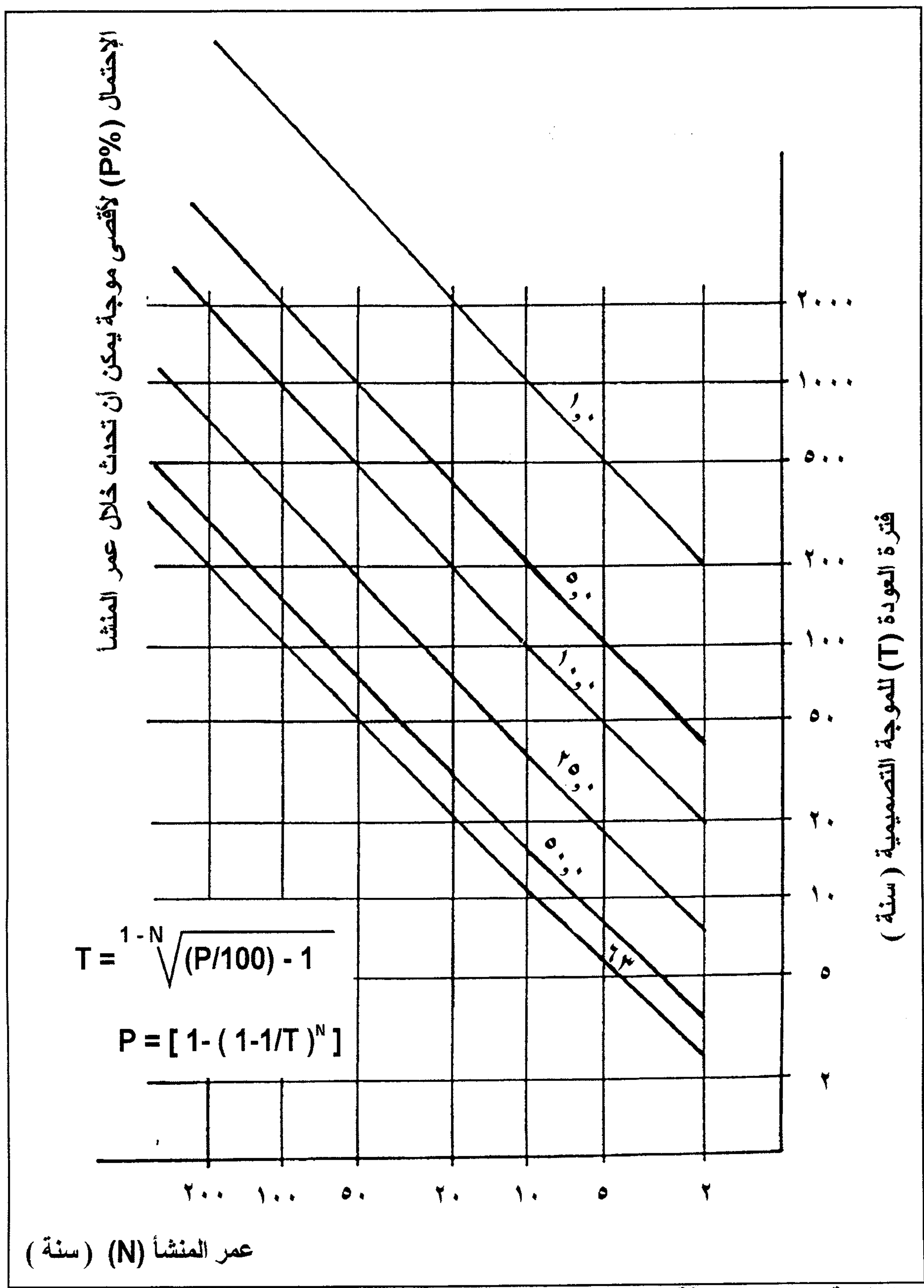
في هذا الصدد يجب أن تؤخذ فى الاعتبار العوامل التالي بيانها:-
* الغرض من المنشأ.
* تخطيط وضع المنشأ.
* نوع المنشأ.
* القوى الخارجية المؤثرة على ثبات المنشأ.
* حالة تربة التأسيس وخصائصها.
* تفاصيل التصميم المبدئى.
* التحقق من كفاءة وثبات المنشأ باستخدام النماذج الطبيعية المصغرة و/ أو الرياضية.
* التصميم النهائى.

٤-٢ العوامل المؤثرة على تصميم المنشآت

يجب تحديد العوامل التالية :-
* خصائص الموجة التصميمية.
* التغير فى خصائص الموجة على طول المحور الطولى للمنشآت.
* التيارات البحرية.
* ميل قاع البحر أمام المنشأ.
* التغير فى مناسيب قاع البحر أمام المنشأ.
* نوع المنشأ من ناحية درجة المسامية وتأثيرها على امتصاص طاقة الأمواج الساقطة.
* القوى المؤثرة على ثبات واتزان المنشأ.
* معدل الركوب الموجى.(overtopping)
* مدى الصعود والهبوط الموجى.(Runup and rundown)
* مدى ومعدل النحر أمام المنشأ.
* خصائص التربة.
* مقدار الهبوط المتوقع نتيجة لانضغاط التربة.
* مواد الإنشاء القريبة من المنطقة وطريقة الإنشاء.

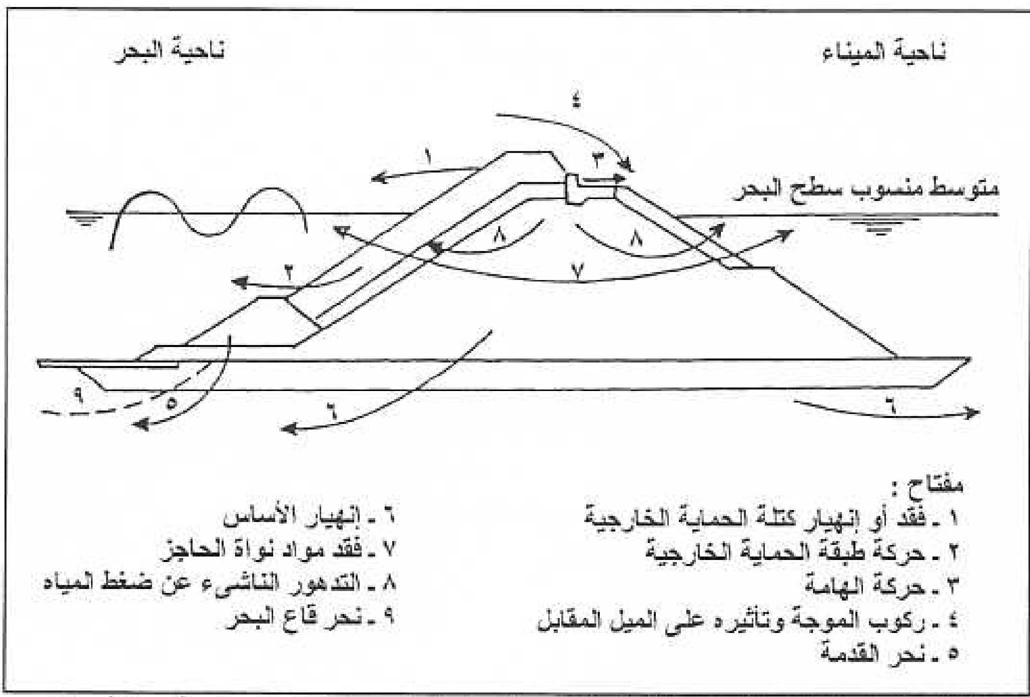
٤-٣ العوامل المسببة لانهيار المنشأ

* تقدير ارتفاع أقل للموجة التصميمية : نتيجة لنقص المعلومات عن الأمواج أو نتيجة لحساب الموجة التصميمية لمدة عودة Return period قصيرة، وعادة يأخذ المصمم في اعتباره عند تصميم المنشأ التوازن بين فترة عمر المنشأ (N) وفترة العودة للموجة التصميمية(T) والنسبة الاحتمالية لحدوثها أثناء فترة عمر المنشأ (P%) ، ويحكم الاختيار أهمية المشروع والتكلفة الاقتصادية. ويتضح من الشكل رقم (٤-١) أنه فى حالة تساوي عمر المنشأ مع فترة العودة للموجة التصميمية فإن احتمال حدوث أقصى موجة يكون مرتفعاً ، ويقل هذا الاحتمال في حالة زيادة قيمة النسبة $(\overline{T}/\overline{N})$ وعموماً ففي المياه غير العميقة فإن الموجة التصميمية تعتمد على عمق المياه بحيث لا يكون هناك فرق يُذكر فى حالة حساب الموجة التصميمية لفترة عودة ١٠٠٠ عام أو ٥٠ عام.

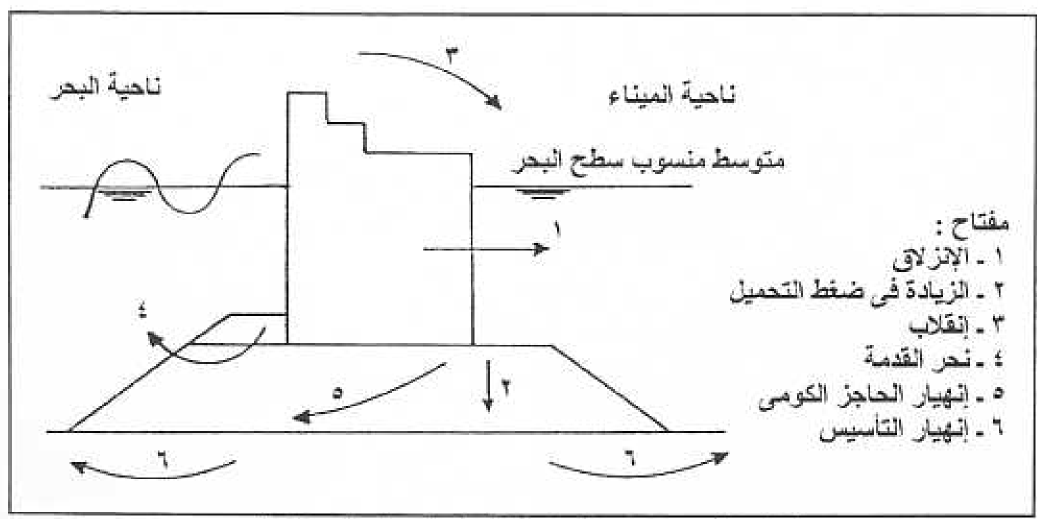


شكل رقم (٤-١) العلاقة بين فترة العودة للموجة التصميمية وعمر المنشأ وإحتمالات حدوث أقصى موجه خلال فترة عمر المنشأ

* عدم الأخذ فى الاعتبار مواقع تركيز طاقة الأمواج الناشئة عن انكسار أو انتشار الموجة نتيجة لتغير شكل خطوط القاع أمام المنشأ.
* عدم الأخذ فى الاعتبار كافة العوامل المؤثرة على الثبات والاتزان الكلي للمنشأ، ويوضح الشكل رقم (٤-٢) تأثير هذه العوامل على حاجز أمواج كومى. كما يوضح الشكل رقم (٤-٣) تأثيرها على حاجز أمواج مختلط (رأسي - كومى).
* عدم ملائمة النموذج الطبيعى المصغر لتمثيل القوى المؤثرة إما نتيجة لمقياس التصغير أو لاختلاف درجة المسامية.
* عدم كفاءة الإشراف على أعمال التنفيذ وأعمال ضبط الجودة.
* عدم مطابقة المواد المستخدمة للمواصفات.



شكل رقم (٤-٢) الأسباب المؤدية إلى إنهيار الحاجز الكومى تحت تأثير الأمواج



شكل رقم (٤-٣) أنواع الإنهيارات لحاجز خليطى

٤ـ٤ اختيار نوع المنشأ

يرجع إلى البند ٣-٣ بالباب الثالث من الكود المصري للموارد المائية للتعرف على أنواع منشآت الحماية ويجب عند اختيار نوع المنشأ المفاضلة بين المترادفات المتاحة مع اعتبار العوامل التالية:-

* الغرض من المنشأ وأهميته.
* طبيعة المنطقة (أعماق المياه - طبيعة التربة - عرض المنطقة الشاطئية - ميل الشاطئ - مقدار النحر).
* ظروف الانتفاع والاستخدام.
* توافر مواد الإنشاء.
* طريقة الإنشاء.
* مدة الإنشاء.
* تكاليف الإنشاء.
* طريقة الصيانة وتكاليفها.

٥ـ٤ منشآت الحماية الكومية

١ـ٥ـ٤ حواجز الأمواج والرؤوس البحرية

١ـ١ـ٥ـ٤ المتطلبات العامة لتحديد شكل القطاع

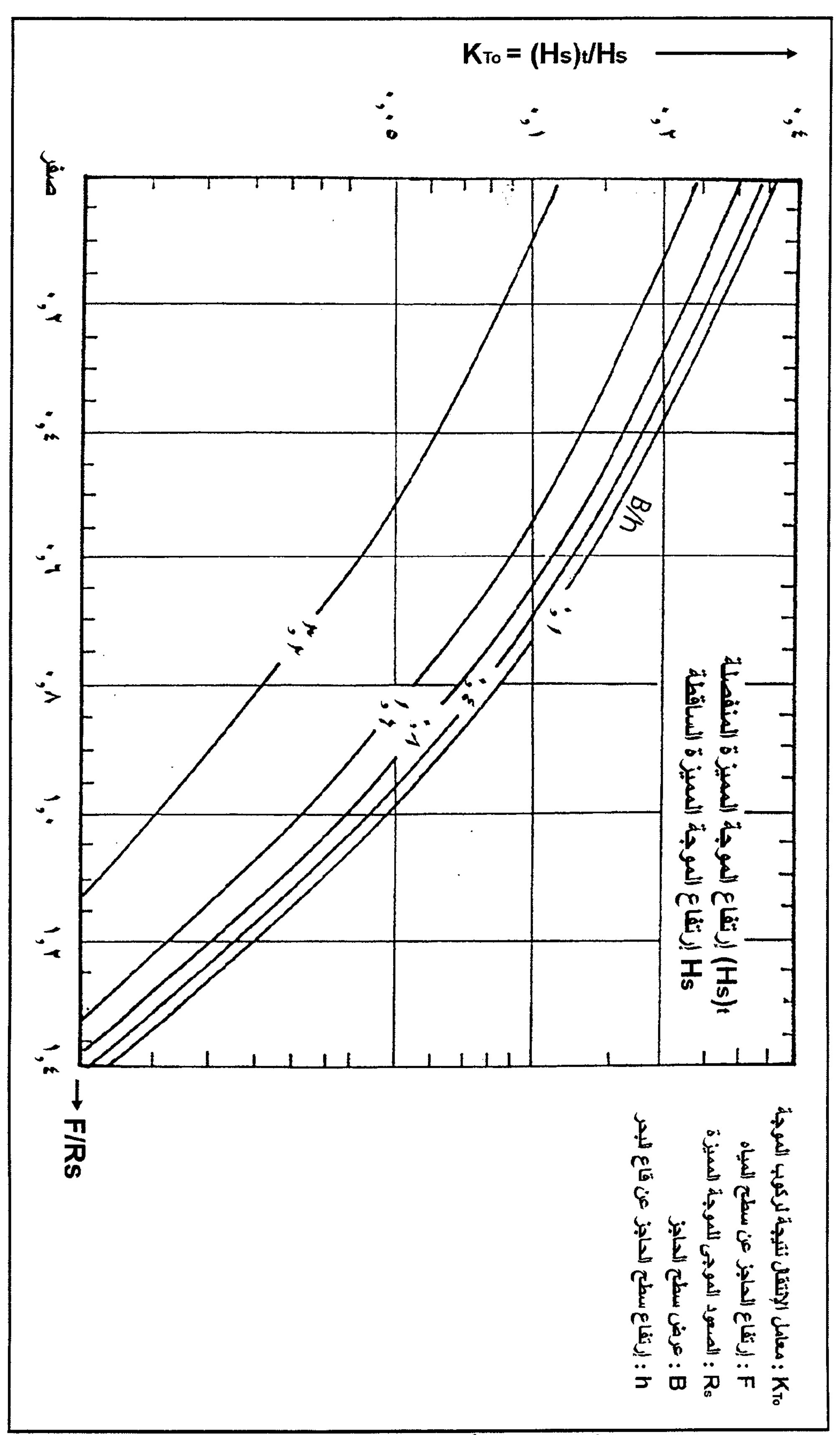
* تحديد منسوب سطح الحاجز أو الرأس ويتوقف ارتفاعه فوق متوسط أعلى مد على معدل الركوب الموجي (الفيض الموجي) Overtopping الذي يمكن السماح به. وعادة يفضل أن يكون ارتفاع سطح الحاجز فى حدود ٦ر٠ من ارتفاع الموجة التصميمية فوق أعلى مد لتقليل الركوب الموجي مع مراعاة منسوب نواة الحاجز طبقا لطريقة الإنشاء.

* تحديد عرض سطح الحاجز أو الرأس يتوقف على معدل الركوب الموجي الذي يمكن السماح به بهدف تقليل تأثير سرعة وعجلة جزئيات المياه أثناء الهبوط الموجي على ثبات كتل الحماية فى الوجه الآخر من الحاجز. وكذا ظروف الانتفاع والاستخدام بحيث يزيد العرض عن عرض الانتفاع. ويوضح الشكل رقم (٤-٤) تأثير عرض ومنسوب سطح الحاجز على الموجة المنتقلة عبر الحاجز.

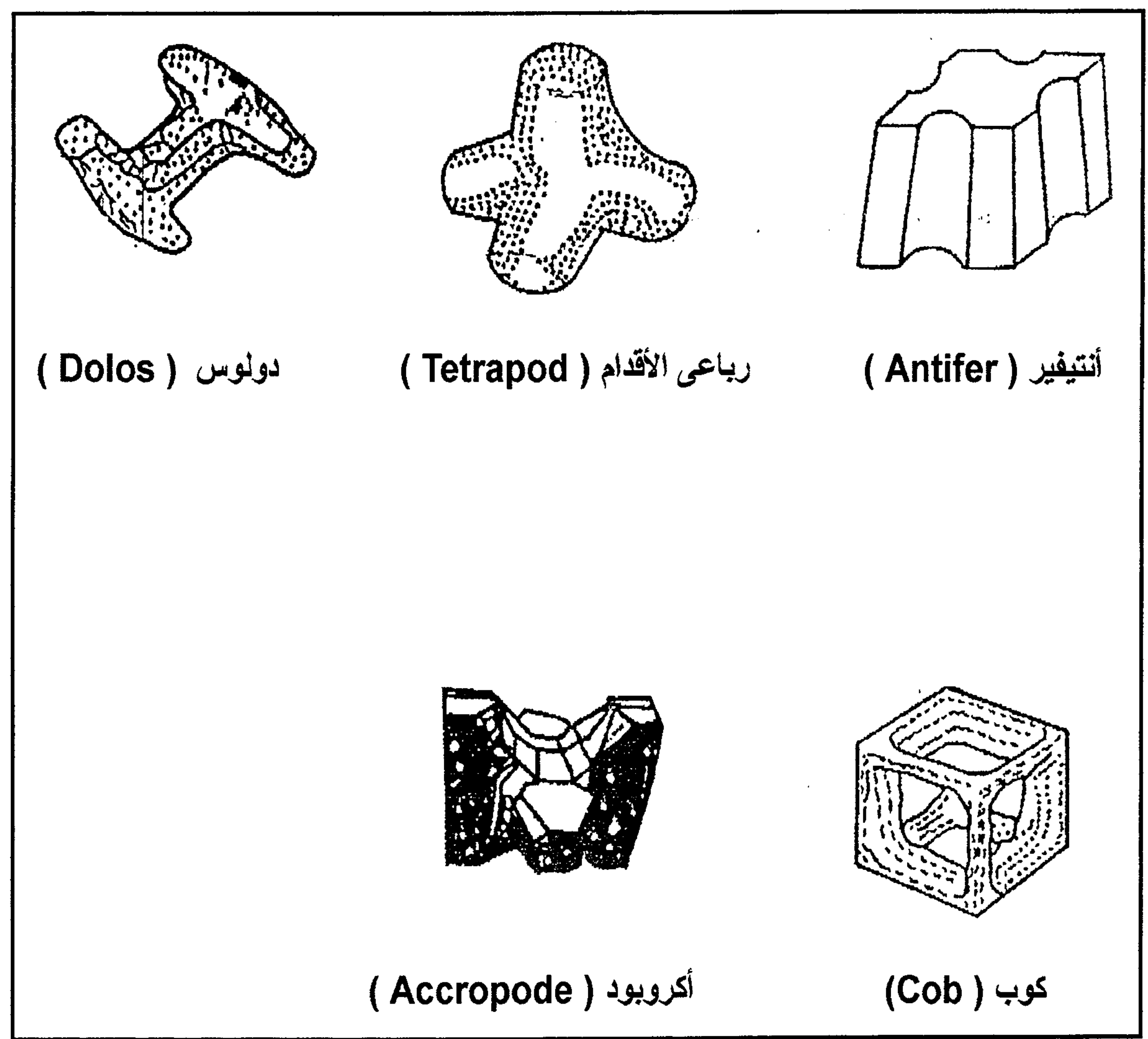
* تحديد الميول الجانبية وتعتمد على نوعية الأحجار الطبيعية أو الكتل الخرسانية المستخدمة فى طبقة الحماية الخارجية والميول الطبيعية لمكونات جسم الحاجز ومسامية قطاع الحاجز والمدى المسموح به للصعود الموجي Wave Runup ويوضح الشكل رقم (٤-٥) بعض أنواع كتل الحماية الخرسانية.

* تماثل أوزان الأحجار الطبيعية أو الكتل الخرسانية المستخدمة لحماية جانبى جزع الحاجز فى حالة تعرض الجانبين لظروف طبيعية شبه متماثلة أو فى حالة السماح بالركوب الموجي.

* تحديد عدد القطاعات التصميمية على امتداد محور جزع الحاجز نتيجة لتغير خصائص الموجة الساقطة.



شكل رقم (٤-٤) تأثير منسوب وعرض سطح الحاجز على الموجة المنتقلة من الحاجز



شكل رقم (٤-٥) أنواع الكتل الخرسانية المستخدمة فى طبقة الحماية الخارجية

* تماثل قطاع رأس الحاجز وأن يكون التماثل بطول مناسب فى الرؤوس ولا يقل عن ٥٠ متر فى الحواجز. ويوضح الشكل (٤-٦) قطاع فى رأس الحاجز.

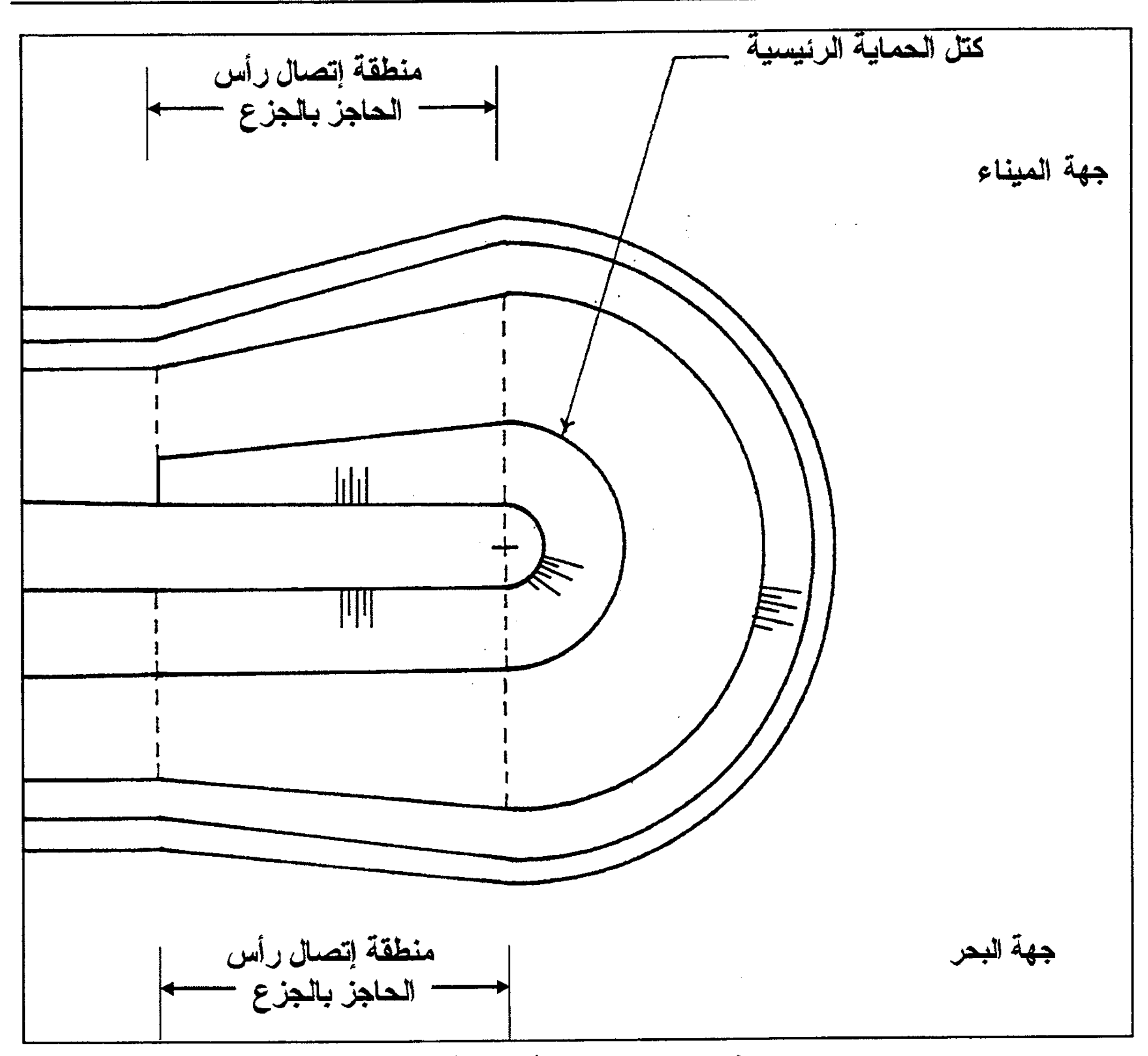
* التحقق من ثبات الكتلة المستخدمة فى طبقات الحماية ومن الثبات الكلى للقطاع بإجراء نماذج طبيعية مصغرة (هيدروليكية) وتحديد نسبة حركة كتل الحماية من مكانها.

* التحقق من اتزان القطاع ضد الانهيار بالقص باستخدام نماذج رياضية.

٤-٥-١-٢ تصميم القطاع

٤-٥-١-٢-١ طبقة الحماية الرئيسية

تستخدم بعض المعادلات الوضعية التى تعتمد على نتائج تجارب على نماذج طبيعية مصغرة ونتائج قياسات من الطبيعة ونظريات هيدروليكية لحساب أوزان الأحجار والكتل الخرسانية المستخدمة فى طبقة الحماية الرئيسية فى التصميم المبدئى ويجب التحقق من ثبات هذه الكتل بإجراء تجارب على نماذج طبيعية (هيدروليكية) مصغرة خاصة فى حالات حواجز الأمواج.



شكل رقم (٤-٦) مسقط أفقى لرأس الحاجز

وتعتبر معادلة هدسون "Hudson " من أشهر وأبسط هذه المعادلات لحساب وزن الكتله. وعادة تستخدم فى هذه المعادلة ارتفاع موجة تصميمية يعادل الموجة المميزة عند الموقع أو أقصى ارتفاع موجة متكسرة يمكن أن تصل إلى موقع الحاجز فى حالة تكسر الأمواج قبل الحاجز وتستخدم "$H_{1/10}$" فى حالة وصول الأمواج للحاجز غير متكسرة.

$$W = \gamma_s H^3 / [K_D ((\gamma_s / \gamma_w) - 1)^3 \cot \theta] \qquad (4-1)$$

حيث :

W : وزن وحدة من الأحجار الطبيعية أو الكتل الصناعية فى طبقة الحماية الرئيسية.
γ_s : الوزن النوعي لمادة كتل الحماية.
γ_w : الوزن النوعي لمياه البحر.
H : ارتفاع الموجة التصميمي .
θ : زاوية ميل جانب الحاجز.

K_D : معامل ثبات الكتل ويتم تحديده من القيم الموضحة بالجدول رقم (٤-١) ثم إجراء تجارب معملية على نماذج مصغرة لتحقيقه (وهو معامل غير مميز بوحدات ويتوقف على شكل الكتلة).

جدول رقم (٤-١) معامل ثبات الكتل

شكل الكتلة	حدود قيم المعامل "K_D"		عدد صفوف كتل الحماية	ميل جانب الحاجز $\cot\theta$	طريقة وضعها على الحاجز
	الجزع	الرأس			
- أحجار طبيعية خشنة مدببة	٢ - ٤	٣,٢-١,٣	٢	٣,٠-١,٥	غير منتظمة
- رباعى الأقدام **Tetrapods**	٧ - ٨	٣,٥- ٦	٢	٣,٠-١,٥	غير منتظمة
- مكعبة معدلة **Modified cube**	٧,٥-٦,٥	٥,٠	٢	٥,٠	غير منتظمة
- دولوس **Dolos**	١٥ - ٣٠	٧ - ١٦	٢	٣,٠-٢,٠	غير منتظمة
- أنتيفير **Antifer**	٦ - ٨		٢		
- أكروبود **Accropode**	١٠ - ١٢		١		

وتستخدم قيم "K_D" الصغرى فى حالة الأمواج الطويلة والمتكسرة وتستخدم قيم "$\cot\theta$" الكبرى فى حالة الأمواج الغير متكسرة وذات شدة انحدار موجي عالي.

٤-٥-١-٢-٢ سمك وعدد كتل طبقة الحماية الرئيسية

يتم حساب سمك طبقة الحماية "r" من المعادلة:-

$$r = n\,c\,v^{1/3} \qquad (4\text{-}2)$$

كما يتم حساب عدد بلوكات الحماية فى وحدة المساحات من المعادلة :-

$$N = n\,c\,[1 - (p/100)]\,v^{-2/3} \qquad (4\text{-}3)$$

حيث :

n : عدد صفوف كتل طبقة الحماية.

v : حجم الكتلة = $(v = W/\rho_s)$.

ρ_s : الوزن النوعى لمادة كتل الحماية.

p : نسبة الفراغات فى طبقة الحماية.

c : معامل يعتمد على شكل الكتل المستخدمة فى الحماية.

ويتم تحديد المعامل "c" & "p" من القيم الموضحة بالجدول رقم (٤-٢) ثم إجراء تجارب معملية على نماذج طبيعية مصغرة لتحقيقه.

جدول رقم (٤-٢) : المعامل "c" ومعامل النفاذية "p"

شكل الكتلة	المعامل "c"	معامل النفاذية "p" %
أحجار طبيعية	١,٠٠	٣٧
رباعى الأقدام	١,٠٤	٥٠
مكعب	١,١٠	٤٧
دولوس	٠,٩٤	٥٦

٤-٥-١-٢-٣ عرض سطح الحاجز العلوى

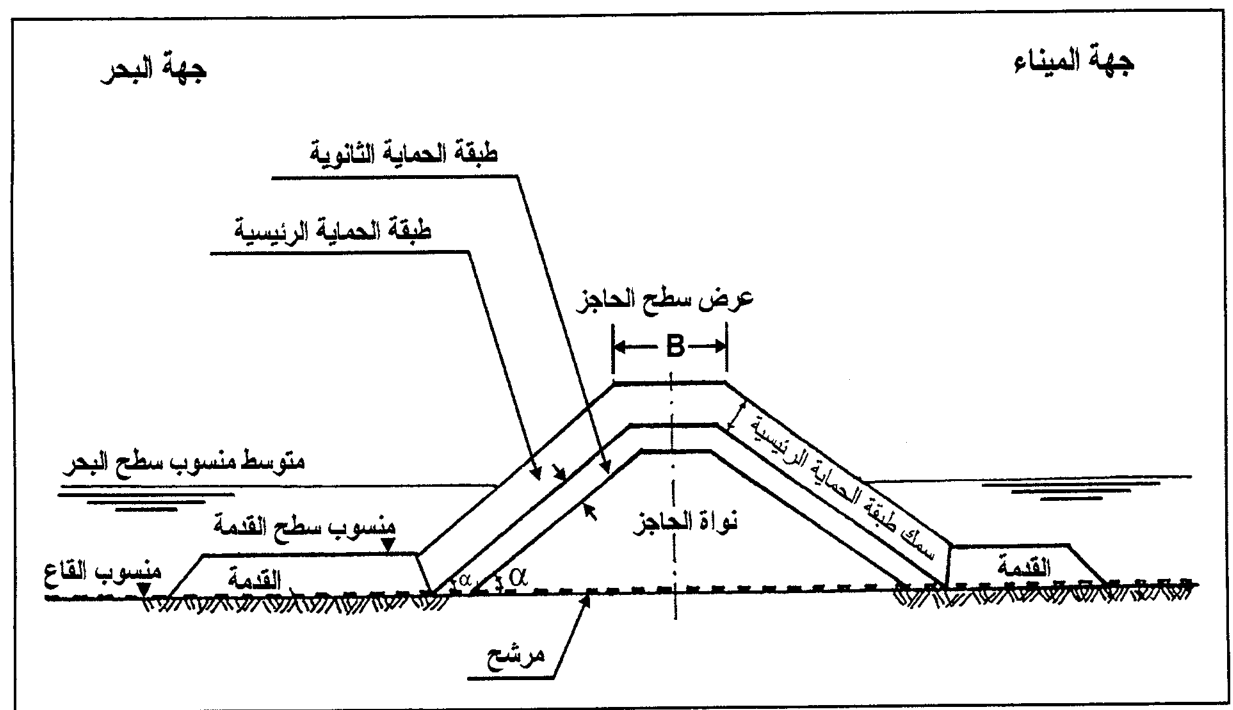
يتم حساب عرض سطح الحاجز (B) باستخدام المعادلة التالية :-

$$B = n\,c\,v^{1/3} \qquad (4\text{-}4)$$

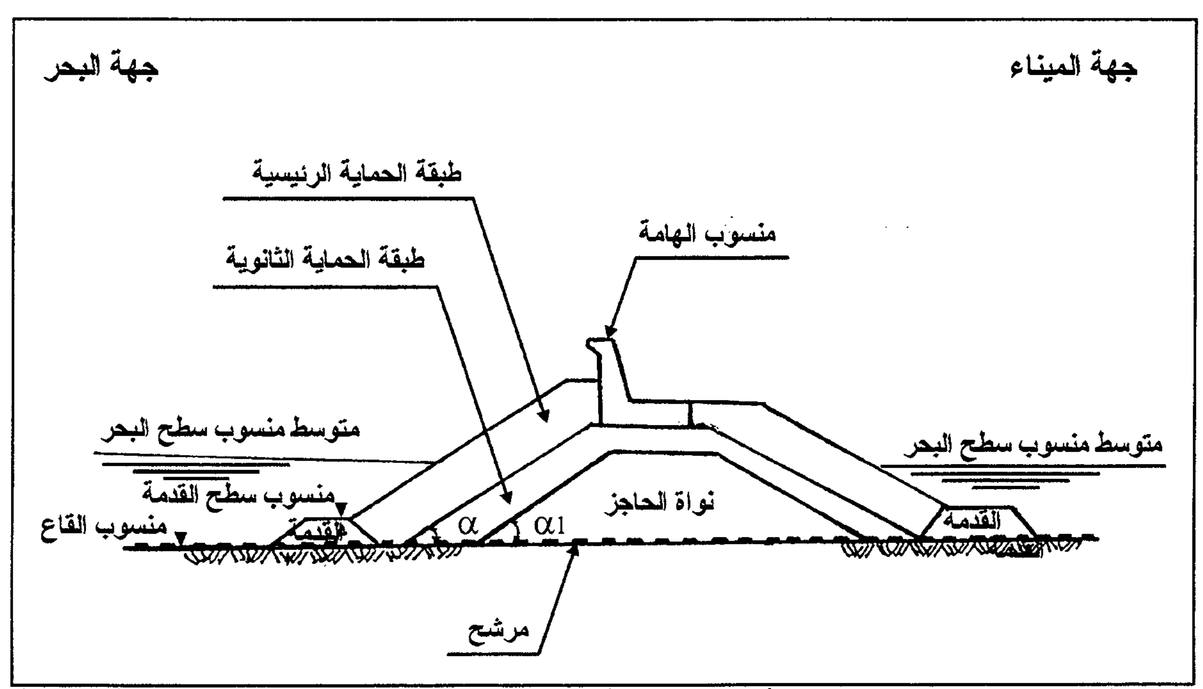
ويفضل أن تكون قيمة $n \leq$ ٣ لتقليل تأثير ركوب الموجة.

٤-٥-١-٢-٤ ارتفاع طبقة الحماية الرئيسية من قاع البحر

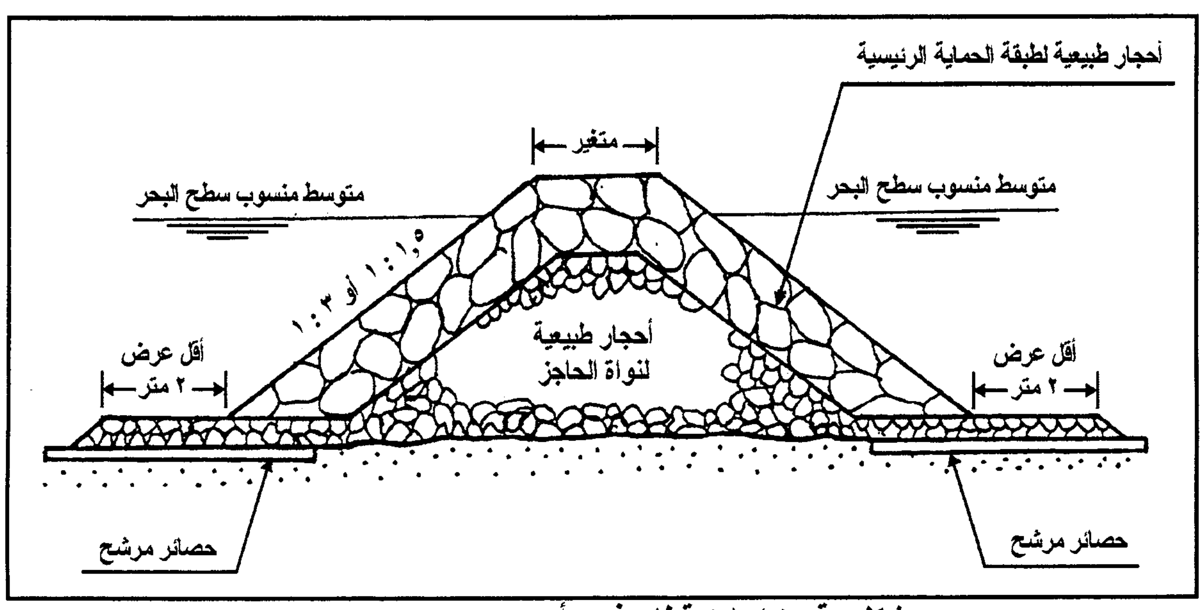
يجب أن تمتد طبقة الحماية الرئيسية إلى عمق $\leq$ ١,٥ ارتفاع الموجة التصميمي من سطح البحر ، ويفضل أن تصل طبقة الحماية الرئيسية إلى منسوب قاع البحر مع الاهتمام بتصميم القدمة أمامها. ويوضح الشكل رقم (٤-٧) قطاع فى حاجز أمواج والشكل رقم (٤-٨) قطاع فى رأس بحرية "Groin".



شكل رقم (٤-٧أ) قطاع فى حاجز أمواج فى أعماق $\geq$ ١,٥ إرتفاع الموجة التصميمى مع وجود قدمة لحماية الحاجز من تأثير النحر



شكل رقم (٤-٧ب) قطاع فى حاجز أمواج فى حالة تغير ميل قطاع نواة الحاجز عن ميل طبقة الحماية الرئيسية وتغير سمك طبقة الحماية الثانوية



شكل رقم (٤-٨) قطاع فى رأس بحرى (Groin)

٤-٥-١-٢-٥ طبقة الحماية الثانوية

يتم تحديد وزن الأحجار الطبيعية (أو الكتل الصناعية) المستخدمة فى هذه الطبقة على أساس أن النسبة بين وزن الأحجار الطبيعية لطبقة الحماية الرئيسية أو ما يكافئها من الكتل الصناعية إلى وزن الأحجار الطبيعية فى هذه الطبقة تتراوح بين ٥ إلى ٢٠ وعلى أن لا يقل سمك هذه الطبقة عن صفين من الأحجار الطبيعية وفى حالة اختلاف زاوية الميل الطبيعى لمواد قلب الحاجز عن زاوية ميل طبقة الحماية الرئيسية يتم تعديل سمك هذه الطبقة ليتوافق مع الميلين.

ويوضح الجدول رقم (٤-٣) النسبة لأوزان كتل هذه الطبقة لأشكال مختلفة من كتل الحماية الرئيسية.

جدول رقم (٤-٣)

شكل الكتـلة فى طبقة الحماية الرئيسية (ذات وزن W)	وزن الكتل الطبيعية (الكتل الصناعية المكعبة) فى الطبقة الثانوية
دولوس Dolos	W/5 - W/10
تيترابود Tetrapod	W/10 - W/20
أكروبود Accropode	W/7.5 - W/10
الكتل الطبيعية والكتل المكعبة	$\geq$ W/10

ويمكن استخدام العلاقة التالية لتحديد قطر الكتل الطبيعية فى الطبقة الثانوية:-

D_{85}(under layer) (الطبقة الثانوية) / D_{voids} (الطبقة الرئيسية) >2

حيث :

D_{85} (under layer) : هي قطر الكتل الطبيعية المستخدمة فى الطبقة الثانويـة والتـى تزيـد عن أقصـى قطر فراغات فى كتل طبقة الحماية الرئيسية بحيث لا يزيد ما يمر فى الفراغات عن ١٥٪ .

(D_{voids}) : هي أقصى قطر فراغات فى كتل طبقة الحماية الرئيسية .

٤-٥-١-٢-٦ نواة الحاجز

(١) يتم تحديد وزن الأحجار الطبيعية المستخدمة فى نواة الحـاجز بحـيث تتراوح بين W/4000 إلـى W/200.
حيث W هى وزن بلوكات طبقة الحماية الرئيسية.

(٢) فى تحديد التدرج للأحجار المستخدمة بين الطبقة الثانوية للحاجز والنواة تستخدم العلاقة التالية :-

$$D_{15u} / D_{85c} \leq 4.0 \text{ to } 5.0$$

حيث :-

D_{15u} : قطر فتحة المنخل الذي يمر فيه ١٥٪ من وزن الكتل الطبيعية المستخدمة فى الطبقة الثانوية.

D_{85c} : قطر فتحة المنخل الذى يمر فيه ٨٥٪ من وزن الأحجار المستخدمة فى النواة.

(٣) عند إنشاء النواة يراعى ما يلى :-

* فى حالة الإنشاء من البر : يراعى أن يكون سطح النواة أعلى أو يسـاوى منسوب متوسط أعلـى مياه ، وأن يكون عرض سطح النواة مناسباً للمعدات المستخدمة فى الإنشاء.
* فى حالة الإنشاء من البحر بواسطة وحدات عائمة يُمكن أن يقل منسوب وعرض سطح النـواة عنها في حالة الإنشاء من البحر.

* ألا تزيد نسبة الأحجار ذات وزن واحد كجم فأقل عن ١٪ من حجم جسم النواة وألا تزيد نسبة الأحجار ذات الوزن من ١ إلى ١٠ كجم عن ١٠٪ منه.

٤-٥-١-٢-٧ قدمة الحاجز

تعمل الأمواج المتكسرة على الحاجز والأمواج المنعكسة منه على نحر القاع أمام الحاجز فى حالة إذا كان العمق أمام الحاجز ≥ ١,٥ ارتفاع الموجة التصميمية. كما يتحدد وزن كتل القدمة وسمكها من خصائص الأمواج وعمق المياه أمام الحاجز. ونظرا للدور الرئيسي الذي تقوم به قدمة الحاجز في الحفاظ على سلامته لذا وجب الاهتمام بتصميمها. وأحيانا يتم وضع فرشة من الأحجار أسفل القدمة تمتد أمامها أفقيا لمسافة تعتمد على طبيعة النحر في المنطقة. ويعطي الشكل رقم (٤-٩) منحنيات تحديد أقطار الأحجار المستخدمة في الفرشة أسفل وأمام القدمة، كما يمكن استخدام الأبسطة الصناعية بدلا من فرشة الأحجار. ويوضح الشكل (٤-١٠) قطاع لقدمة حاجز أمواج فى عمق مياه ≥ ١,٥ ارتفاع الموجة التصميمية.

٤-٥-١-٣ اشتراطات الجودة لكتل الحماية الرئيسية

** يتم استخدام الكتل الطبيعية فى حالة توافرها بالأوزان والمواصفات المطلوبة في مقربة من موقع الإنشاء ، وإن لم تتوفر فيتم استخدام الكتل الخرسانية.

** يجب مراعاة أن تقاوم الكتل الخرسانية الإجهادات الآتية :-

- الإجهادات الناشئة أثناء تصلب الكتل نتيجة لانكماشها وتعتمد على حجم الكتلة ونوع الأسمنت المستخدم وأسلوب التجهيز لعملية الصب والتماسك "Curing".

- الإجهادات الناشئة عن عملية مناولة الكتل ونقلها بعد الصب وعند إنزالها ورصها فى الحاجز.

- الإجهادات الناشئة عن تأثير وزن الكتل وتداخلها مع بعضها البعض وتحركها نتيجة لهبوط الحاجز.

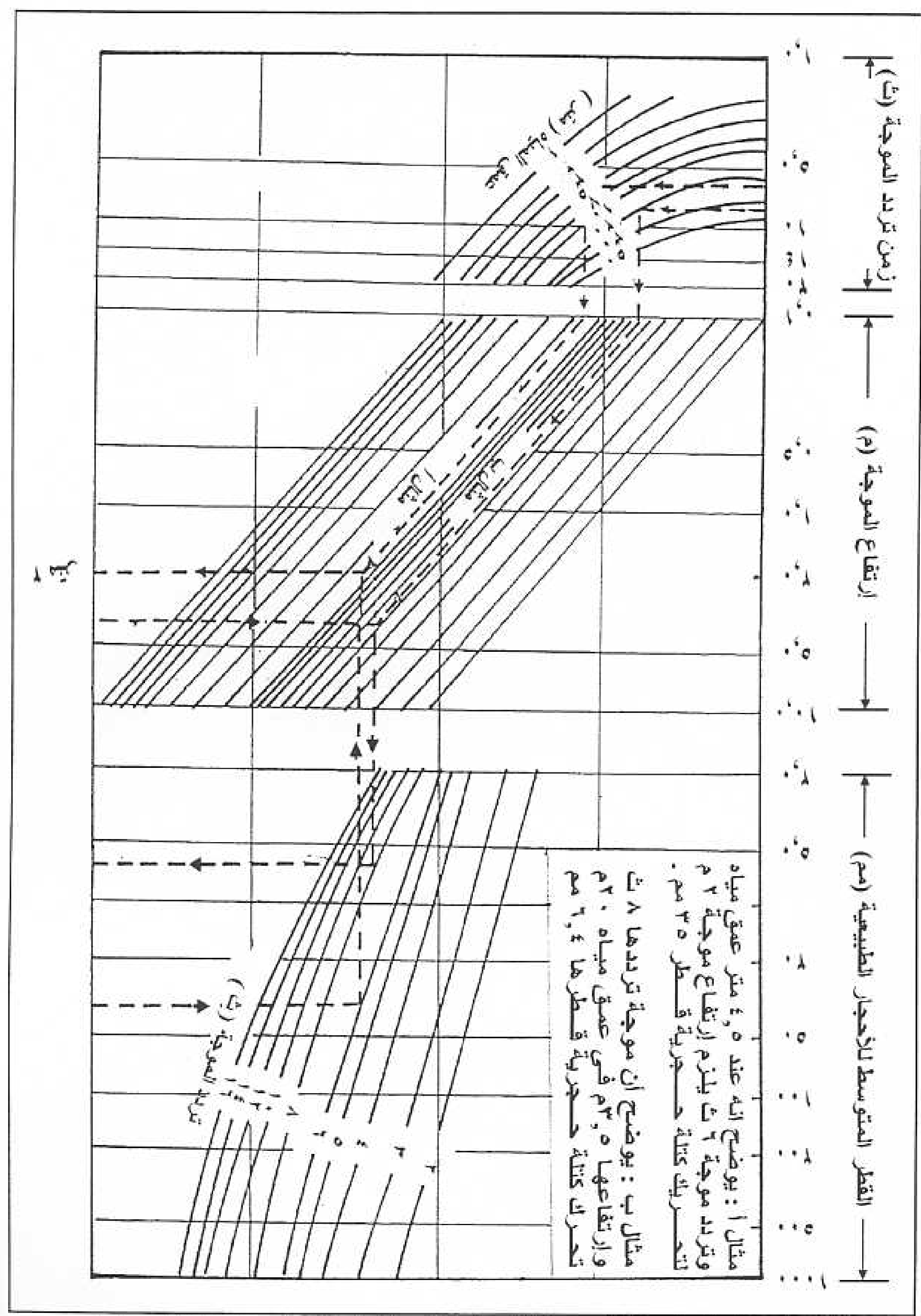
- الإجهادات الهيدروليكية والناشئة عن تأثير الصعود والهبوط الموجي على حركة الكتل.

- الإجهادات الديناميكية الناشئة عن اهتزاز وتصادم الكتل أثناء حركتها نتيجة للمؤثرات الديناميكية للأمواج.

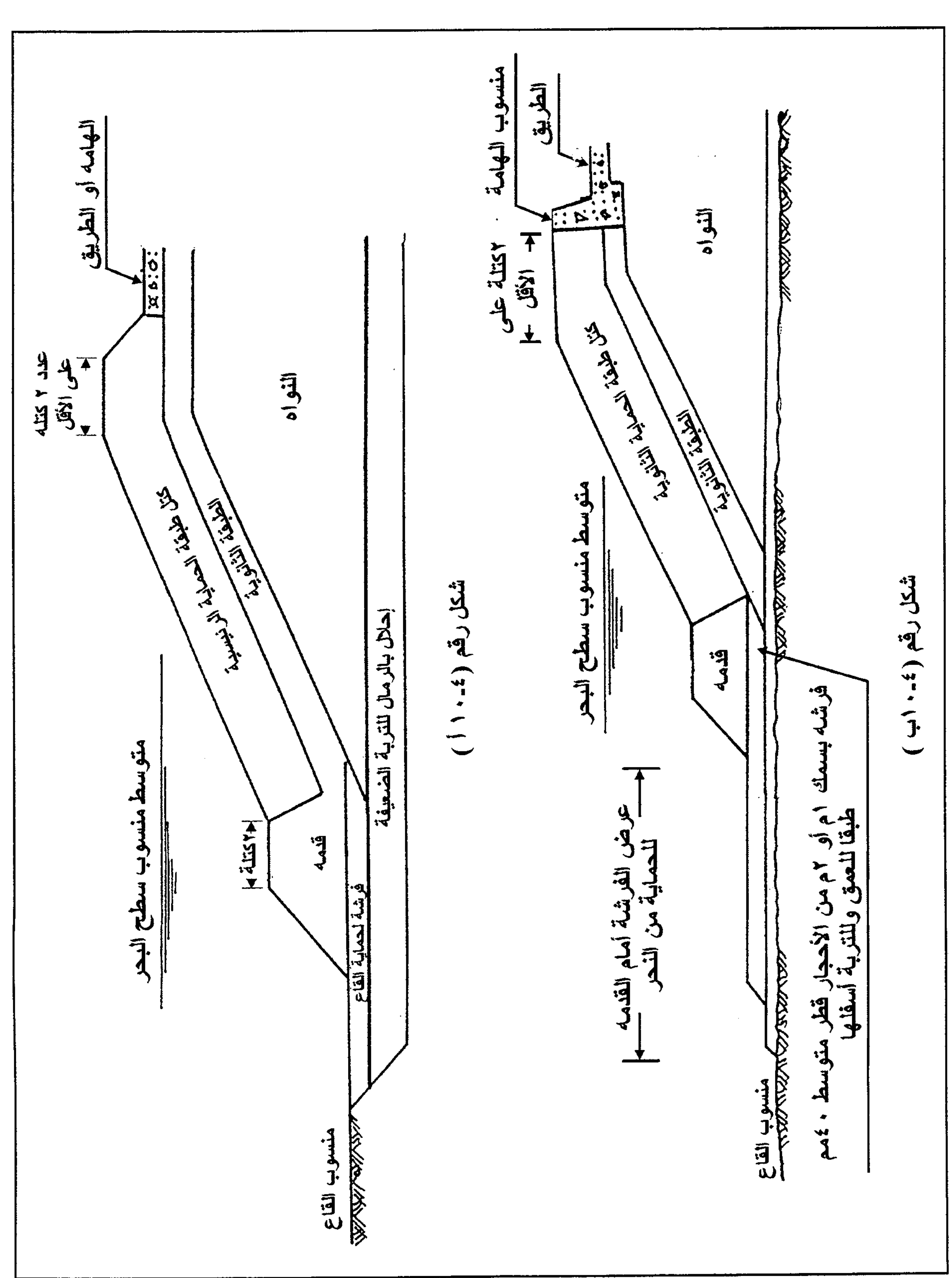
** ويوضح الجدول رقم (٤-٤) أقصى وزن لكتل حماية الطبقة الرئيسية للأشكال المختلفة.

جدول رقم (٤-٤)

شكل الكتلة	أقصى وزن للكتلة (طن)
دولوس **Dolos**	١٥
تترابود **Tetrapod**	٣٠
أنتيفير **Antifer**	٦٠



شكل رقم (٤-٩) الحركة الحرجة للأحجار الطبيعية على قاع البحر تحت تأثير الأمواج



شكل رقم (٤-١٠) قطاع لقدمة حواجز الأمواج فى عمق مياه أمام الحاجز ≥ ١,٥ إرتفاع الموجة التصميمية

٤-٥-١-٤ أعمال الأساس وسلوك تربة التأسيس

(١) اتزان الحاجز ضد الانهيار بالانزلاق:-
يجب اختبار ثبات الحواجز ضد احتمالات حدوث الانزلاق وأن يؤخذ أوطى منسوب للمياه على أنه أسوأ الظروف بالنسبة لاحتمالات الانزلاق. ويجب ألا يقل معامل الأمان عن ١,٥. حيث أن معامل الأمان = مجموع العزوم المسببة للاتزان / مجموع العزوم المسببة للانزلاق.

(٢) هبوط جسم الحاجز:-
يجب حساب هبوط الحاجز، ويرجع فى ذلك إلى الجزء الثالث من الكود المصرى لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات والخاص "بالأساسات الضحلة".

(٣) استخدام الأبسطة الصناعية (Geotextile):-
تستخدم الأبسطة الصناعية أسفل جسم الحاجز للعمل كطبقة مرشح فاصلة بين جسم الحاجز وتربة قاع البحر الضعيفة لمنع أو لتقليل تداخل مكونات التربة في مواد نواة الحاجز. كما أنها تساعد على توزيع حمل الحاجز على سطح التربة الضعيفة للقاع.
وتستخدم الأبسطة الصناعية أسفل القدمة لتقليل النحر الذي يحدث أمام قدمة الحاجز.
ويفضل فى كلا الحالتين فرش طبقة من الأحجار الطبيعية المتدرجة لتعمل كمرشح فوق الأبسطة الصناعية.

٤-٥-٢ التكسيات "Revetment"

٤-٥-٢-١ المتطلبات العامة للتصميم
يجب الأخذ فى الاعتبار تحديد ما يلي:-

- خصائص الأمواج والتيارات المؤثرة على ثبات التكسية.
- التغير فى منسوب المياه خلف وأمام التكسية.
- تعيين ضغط المياه خلف التكسية.
- تعيين معامل النفاذية للتربة تحت التكسية.
- تحديد ميل الشاطئ.
- نوع وخصائص التربة خلف وأسفل التكسية بالمنطقة المطلوب حمايتها.
- تعيين الأحمال الثابتة والحية المؤثرة على التكسية.
- مواد الإنشاء القريبة من المنطقة وطريقة الإنشاء.

٤-٥-٢-٢ التكسية الجاسئة "الغير مرنة" (Rigid Revetment)
يؤخذ فى حساب وزن الكتل المكونة لهذا النوع ضغط المياه من أسفل لأعلى الناشئ عن تغير فرق منسوب سطح المياه خلف وأمام التكسية والذى يعمل على تقليل مقاومة الاحتكاك بين التكسية وأساسها أو التربة المنشأة عليها.

وتتمثل القوى المؤثرة على هذه التكسية ما يلي:-

(أ) قوى القص (P_s) "Shear Stress" : حيث يجب تحقيق العلاقة التالية لضمان ثبات التكسية:-

$$P_s \le d\ \rho_s \cos\alpha\ [\tan\varphi\ ((\rho_s - \rho_w)/\rho_s\ )\ \tan\alpha]\ /\tan\varphi \qquad (4\text{-}5)$$

(ب) قوى الضغط من أسفل إلى أعلى (p_d) "Up-Lift Force" : حيث يجب تحقيق العلاقة التالية:-

$$p_d \le d.\ \rho_s.\ \cos\alpha \qquad (4\text{-}6)$$

حيث:-

d : سمك التكسية.
ρ_s : الكثافة النوعية للمواد المستعملة فى إنشاء التكسية.
ρ_w : الكثافة النوعية للمياه.
$\propto$: زاوية الميل المراد حمايته.
φ : زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.

٤-٥-٢-٣ التكسية المرنة"Flexible Revetment"

يجب أخذ النقاط التالية فى الاعتبار عند تصميم هذا النوع من التكسية :-

- أن يكون معامل النفاذية للتكسية أكبر أو على الأقل مساو لنفاذية التربة أسفلها.
- أن يكون ضغط المياه فى التربة خلف التكسية متفق زمنيا مع التغير الذى يطرأ فى منسوب سطح المياه أمامها.
- ألا يسمح بهجرة حبيبات طبقة التربة التي ترتكز عليها التكسية إلى داخل طبقة المرشح التي تعلوها مباشرة.
- يتم استخدام مرشح للحماية أسفل الأحجار أو كتل الخرسانة الصناعية. وهذا المرشح يتكون من مواد طبيعية متدرجة مثل الرمل والزلط أو كسر الأحجار أو مرشح يتكون من الرمل البيتومين أو من أبسطة الجيوتكستيل أو كلاهما.

٤-٥-٢-٣-١ تصميم مرشح من أحجار طبيعية متدرجة

(أ) ثبات المرشح ضد الانزلاق:-

لاستيفاء شرط عدم الانزلاق يجب تحقيق العلاقة التالية :-

$$\sin\propto [\Sigma_{x=1}^{n} (d_x\{1-m_x\}.\rho_s.g + d_x.m_x.\rho_w.g) - \rho_w.g.\ \Sigma_{x=1}^{n} d_x] \le$$
$$\tan\varphi\ [\cos\alpha\ \Sigma_{x=1}^{n}\ [d_x(1-m_x).\ \rho_s.g + d_x.m_x.\rho_w.g] - \rho_w.g.\ \Delta H[$$
$$+ \cos\alpha\, \Sigma_{x=1}^{n}\ d_x]] \qquad (4\text{-}7)$$

حيث :

n : عدد الطبقات المكونة للمرشح.
d_x : سمك الطبقة (x) من المرشح.
m_x : النسبة المئوية للفراغات بالطبقة (x) من المرشح.
ρ_s : الكثافة النوعية لمواد المرشح بالطبقة (x).
ρ_w : الكثافة النوعية للمياه.

$\propto$: زاوية ميل التكسية.
φ : زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.
g : عجلة الجاذبية الأرضية.
ΔH : فاقد الضغط بالمرشح.

(ب) تقليل قوى ضغط المياه من أسفل لأعلى:-
لتقليل تلك القوى يجب تحقيق العلاقات التالية :-

$$\cos\alpha \sum_{x=1}^{n} [d_x (1-m_x). \rho_s g + d_x.m_x.\rho_w.g] \geq \rho_w.g (\Delta H + \cos\alpha \sum_{x=1}^{n} d_x) \quad (4\text{-}8)$$

$$\Delta H_n / d_n \leq \Delta H_{n-1}/d_{n-1} \leq \Delta H_{n-2}/d_{n-2} \ldots\ldots \text{ etc .} \quad (4\text{-}9)$$

(جـ) معامل النفاذية:-
لإعطاء المرشح نفاذية كافية مع عدم السماح بهجرة حبيبات التربة من طبقة إلى أخرى مجاورة لها يجب تحقيق العلاقة التالية بالتقريب:-

$$Z = D_{15\ nth}/D_{15(n-1)th} = D_{15\ \ 1st}/D_{15\ \text{Soil material}} \quad (4\text{-}10)$$

حيث :
D_{15} : قطر فتحة المنخل الذى يمر منه ١٥٪ من وزن العينة.
Z : معامل النفاذية وقيمته تعتمد على شكل الحبيبات ونظام تركيبها وتتراوح وفقا لما يلي:-

- للحبيبات المستديرة الشكل من ٥ إلى ١٠ (زلط).
- للحبيبات المربعة الشكل من ٦ إلى ٢٠ (زلط مكسر وحجر رفيع).
- للحبيبات المتدرجة الأحجام من ١٢ إلى ٤٠.

(د) سمك طبقات المرشح:-
يجب أن تكون طبقات المرشح ذات سمك كاف يسمح بتوزيع سليم للتدرج الحبيبى.

٤-٥-٢-٣-٢ المرشح الصناعي (الأبسطة الصناعية)

يعتمد نوع الأبسطة على : التدرج الحبيبى للتربة والتغير فى قوى ضغط المياه خلف التكسية ومدى المقاومة المطلوبة لمادة المرشح.

وغالبا ما يتم استخدام المرشح الصناعي مع المرشح الطبيعي بهدف تقليل سمك المرشح الطبيعى وعدد طبقاته.

٤-٥-٢-٣-٣ ثبات الأحجار المستخدمة في طبقة التكسية

يجب أن تكون الكتل المستخدمة في التكسيات ذات أبعاد مناسبة لمقاومة القوي الساقطة عليها من الأمواج والتيارات، ومن ثم يلزم أن تكون أكبر من الحجم المعين بواسطة كل من الصيغ الثلاثة التالية أو على الأقل مساوية لأكبرها:-

(أ) تأثير الأمواج:-

العلاقة التالية تعطي حجم وحدة الدبش المستخدم في التكسية على الميل ليقاوم تأثير الأمواج:-

$$D \geq (B/\gamma)\ [H/(\cos\propto - \sin\propto)] \qquad (4\text{-}11)$$

حيث :

D : القطر الاسمي المتوسط لوحدة الدبش.
B : معامل يتراوح بين ٠,٢٥ إلى ٠,٤٥ ويعتمد على ميل التكسية وطول الموجة.
γ : $(\rho_s-\rho_w)/\rho_w$.
H : ارتفاع الموجة.
$\propto$: ميل التكسية.

(ب) تأثير التيار الموازى للشاطئ:-

لمقاومة تأثير التيار الموازي للشاطئ تستخدم المعادلة التالية :-

$$D \geq (B/\gamma)\ (V^2/2g)\ [1/(\sqrt{(1-\sin^2\alpha)/\sin^2\alpha})] \qquad (4\text{-}12)$$

حيث :

B : معامل يتراوح بين ٠,٥ إلى ١,٤ ويتناسب مع الأمواج وخشونة القاع.
V : أقصى قيمة للتيار الموازى للشاطئ.

ويجب أن يمتد عمق التكسية تحت منسوب الماء لمسافة ٢ إلى٣ ارتفاع الموجة التصميمية مقاسا من أوطى منسوب جذر.

(جـ) حساب أوزان الأحجار:-

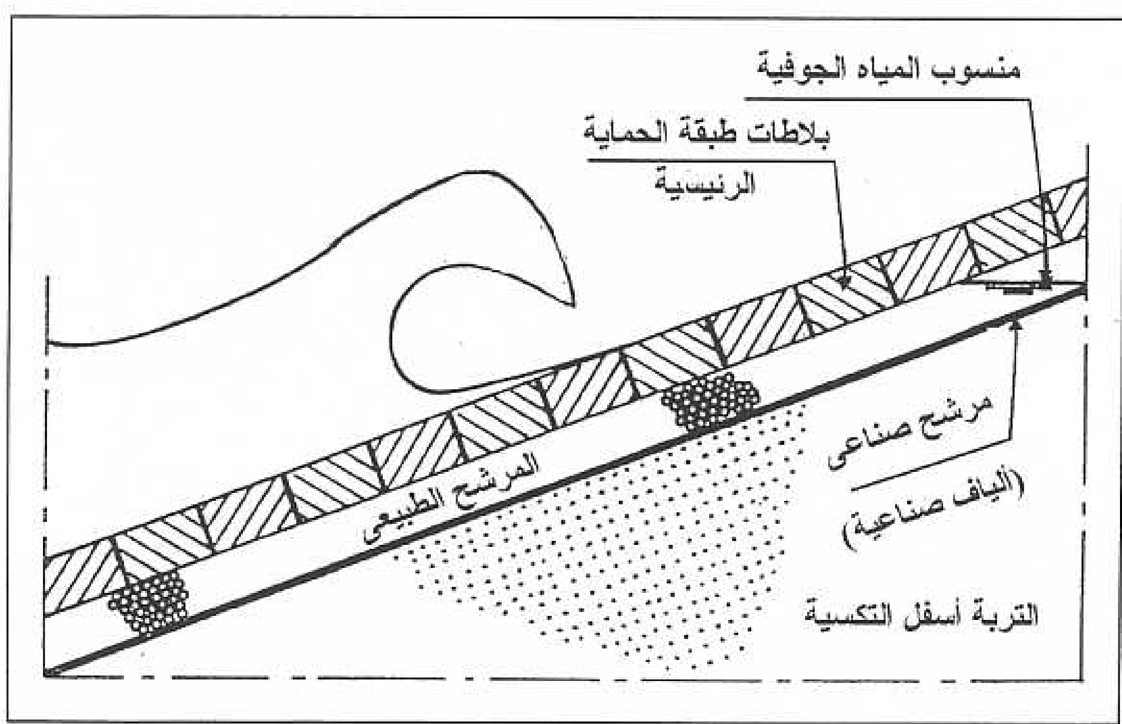
كما يمكن استخدام صورة معدلة لمعادلة هدسون فى حساب وزن كتل أحجار طبقة الحماية كما يلي:-

$$W_{50}=\rho_s H^3/[K_D((\rho_s-\rho_w)/\rho_w)^3 \cot\theta] \qquad (4\text{-}13)$$

حيث :

W_{50} : هي زنة الكتلة التي تمثل ٥٠٪ في منحنى التدرج للكتل ، ويجب أن يراعى ألا يزيد أقصى وزن للأحجار عن أربع مرات (W_{50}) وألا يقل عن ١/٨ (ثمن) (W_{50}) وأن لا يزيد ارتفاع الموجة التصميمية عن ١,٥ متر.

كما تستخدم معادلة هدسون فى حساب وزن البلاطات الخرسانية والكتل الخرسانية المعشقة. ويوضح الشكل رقم (٤-١١) قطاع فى تكسيه باستخدام بلاطات خرسانية، وجدير بالذكر أنه يلزم مراعاة تخشين السطح الخارجي عند استخدام هذا النوع من التكسيات.



شكل رقم (٤-١١) قطاع فى تكسية من بلاطات خرسانية

٤-٥-٣ السدود الشاطئية (Dikes)

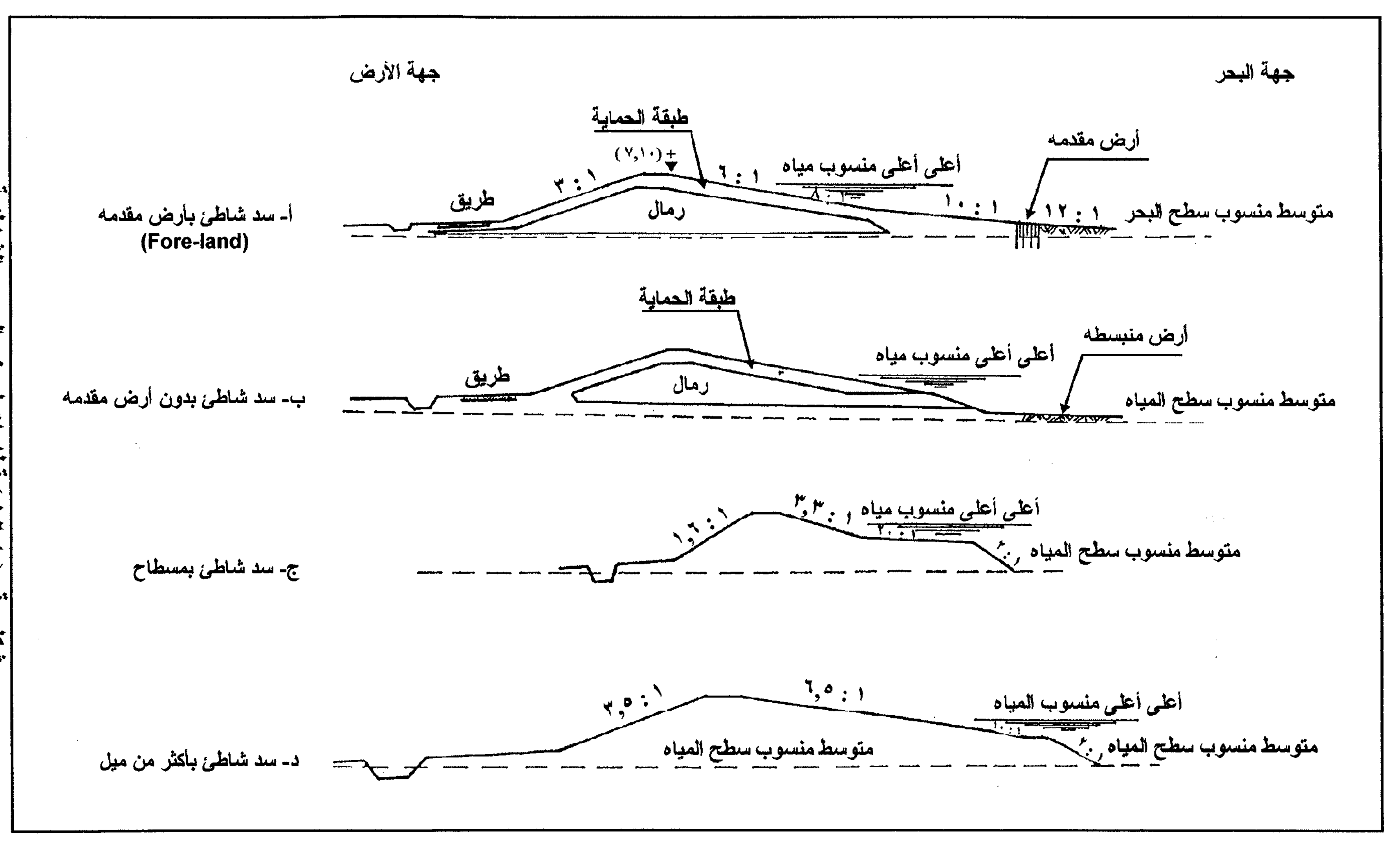
٤-٥-٣-١ المتطلبات العامة للتصميم

(١) تحديد منسوب سطح المنشأ وعادة يحسب ارتفاعه فوق منسوب أعلى أعلى مياه بمقدار أعلى صعود موجي بهدف حماية المنشآت خلفه.
(٢) أن يكون ميل المنشأ المواجه للبحر منبسطا ويفضل أن يكون أكبر أو يساوى (٦:١) أو عمل أكثر من ميل كما هو موضح بالشكل رقم (٤-١٢).
(٣) ألا يزيد ميل المنشأ جهة الأرض عن الميل الطبيعي للمواد المستخدمة في الإنشاء.
(٤) عرض سطح المنشأ يتوقف على حد الانتفاع ومنع الفيض الموجي.
(٥) تحديد خصائص التربة وسلوكها خلف وأسفل السد الشاطئي.
(٦) تحديد النحر فى المنطقة الشاطئية.
(٧) يفضل استخدام مونـة بيتومينية فى تثبيت الأحجار الطبيعية المكونة لطبقة الحماية وتحديد أوزان هذه الأحجار باستخدام معادلة هدسون المعدلة والموضحة فى تصميم التكسيات.

ويوضح الشكل (٤-١٢) قطاعات لبعض السدود الشاطئية.

٤-٥-٣-٢ الأمواج المؤثرة على تصميم السدود الشاطئية

عادة يتم إنشاء السدود الشاطئية فى محاذاة خط الشاطئ خلف خط تقاطع المنسوب المتوسط لسطح البحر مع اليابسة وبالتالي فإن الأمواج التى تصل إليه تكون متكسرة، ويتم التصميم على أساس أقصى ارتفاع موجة متكسرة مع الأخذ فى الاعتبار أن أقصى صعود موجي يعادل ضعف أقصى ارتفاع موجة متكسرة.



شكل رقم (٤-١٢) قطاعات لبعض السدود الشاطئية

٤-٥-٤ الحوائط البحرية الكومية

يرجع عند التصميم إلى البند رقم ٤-٥-١-٢-١.

٤-٦ منشآت الحماية غير الكومية

٤-٦-١ القوى المؤثرة على منشآت الحماية الرأسية

يتم تعيين القوى المؤثرة على منشآت الحماية الرأسية على أساس دراسة موقعها والغرض من إنشائها فعلى سبيل المثال :-

١ - عند استخدام الحوائط الرأسية في تراكي الوحدات العائمة يجب أن يؤخذ فى الاعتبار القوى الأفقية الناتجة عن ارتطام الوحدات العائمة بالمنشأ وكذلك قوى الشد الناتجة عن الرباط فى حالة استخدام المنشأ كرصيف.

٢ - اختلاف القوى الناشئة عن الأمواج نتيجة لاختلاف مكان الإنشاء من حيث درجة تعرضه للأمواج وكذلك موقعه بالنسبة لمنطقة التكسر.

٣ - القوى الناشئة عن الضغط الاستاتيكي نتيجة حركة سطح المياه الناشئة عن المد والجزر.

وتعتبر القوى الناشئة عن الأمواج من أكبر القوى التى تؤثر على سلامة وثبات المنشأ ولذلك يجب الاهتمام بتحديد هذه القوى كأساس للتصميم.

٤-٦-١-١ قوى الأمواج المؤثرة على منشآت الحماية الرأسية

يمكن حساب القوى الناشئة من الأمواج التى تهاجم الحوائط بتحديد نوع وحالة الأمواج فى مكان المنشأ على النحو التالي:-

١ - أمواج غير متكسرة Non-Breaking Waves.

٢ - أمواج متكسرة عند المنشأ Breaking Waves.

٣ - أمواج مكسورة (سبق تكسرها) Broken Waves.

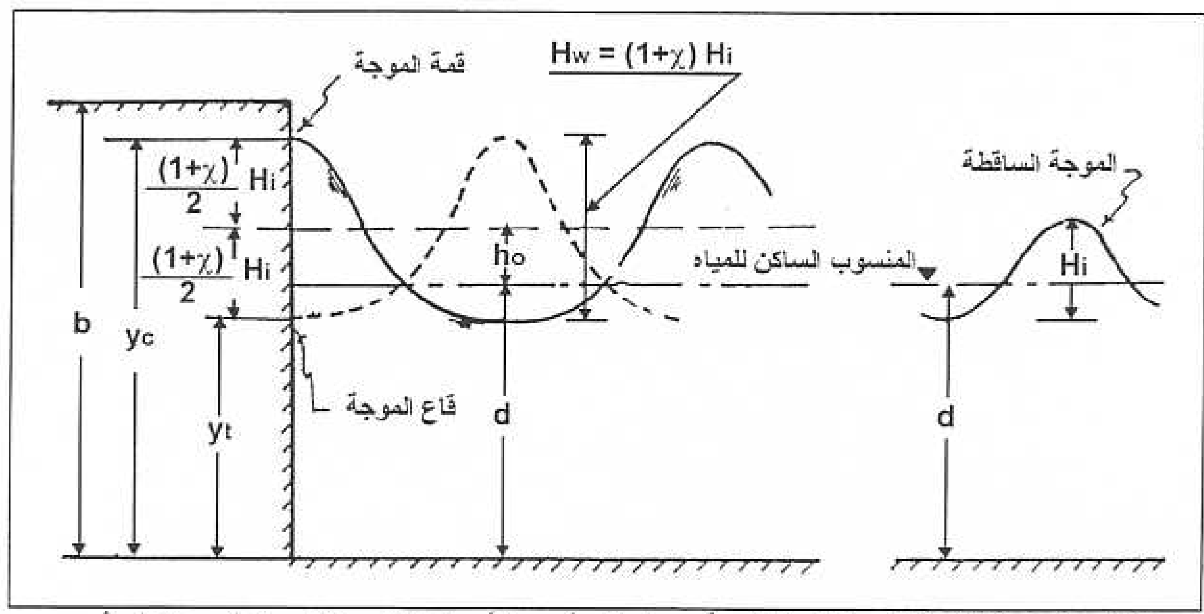
وترجع أهمية هذا التصنيف بالنسبة للأمواج إلى أن القوى الناشئة عن الأمواج الغير متكسرة هى في المقام الأول قوى استاتيكية لاختلاف منسوب المياه أمام المنشأ فى حالتى القمة والقاع للموجة، أما فى حالة الأمواج المتكسرة عند المنشأ والمكسورة (التي سبق تكسرها) فإنه بالإضافة إلى القوى الاستاتيكية توجد قوى ديناميكية نتيجة لاضطراب الأمواج وتكوين جيوب هوائية منضغطة وبالتالى تكون محصلة القوى فى هذه الحالة أكبر من القوى الاستاتيكية.

ولهذا فإن المنشآت الرأسية فى تلك المناطق تصمم على قوى أكبر منها فى حالة وجود المنشأ فى منطقة الأمواج الغير متكسرة.

٤-٦-١-١-١ قوى الأمواج الغير متكسرة Non-Breaking Waves

فى حالة وجود المنشأ الرأسي فى أعماق تزيد عن مرة ونصف ارتفاع الموجة القصوى المتوقع مهاجمتها للمنشأ - تحسب القوى الناشئة عن الأمواج على أنها أمواج غير متكسرة.

وقد قام سان فلو "Sainflou" بتحديد الأسس التصميمية وحساب قوى الأمواج الغير متكسرة على أساس رسم منحنى توزيع قوى الضغط بطريقة تقريبية باعتبار أن المنحنى خط مستقيم وقد قام ماك "Miche" وراندجرن "Rundgren" بعمل تجارب لتحسين طريقة "سان فلو" بإضافة تأثير انعكاس الأمواج وارتدادها أمام المنشأ على القوى الناشئة عن الأمواج. ويمثل شكل (٤-١٣) رسم تخطيطي للحائط الرأسي والأمواج المهاجمة للمنشأ والمرتدة عنه.



شكل رقم (٤-١٣) التعريفات الخاصة بمعاملات قوى الأمواج الغير متكسرة على حائط رأسى

وتتلخص طريقة "ماك - راندجرن" فى حساب قوى الأمواج الغير متكسرة فى الخطوات التالية:-

١ - تحديد ارتفاع الموجة التصميمية المهاجمة للمنشأ -Incident wave height (H_i)
٢ - تحديد قيمة معامل الانعكاس -Reflection coefficient (χ)
٣ - حساب ارتفاع الموجة عند الحائط الرأسي -Wave height at wall (H_w)

$$H_w = H_i + H_r = (1 + \chi)\, H_i \qquad (4\text{-}14)$$
$$\chi = H_r \text{ reflected} / H_i \text{ incident}$$

وفى حالة وجود انعكاس كامل للموجة الساقطة على المنشأ الرأسى تتساوى الموجة الساقطة مع الموجة المرتدة فى الارتفاع والتردد مع اختلاف الاتجاه (١٨٠) أى أن $\chi = 1$ وعلى ذلك فإن الموجة عند الحائط تساوى ضعف الموجة الساقطة عليه.
وبالرجوع إلى شكل (٤-١٣) يتضح أنه فى هذه الحالة يكون ارتفاع منسوب قمة الموجة الساقطة من قاع البحر y_c يساوى:-

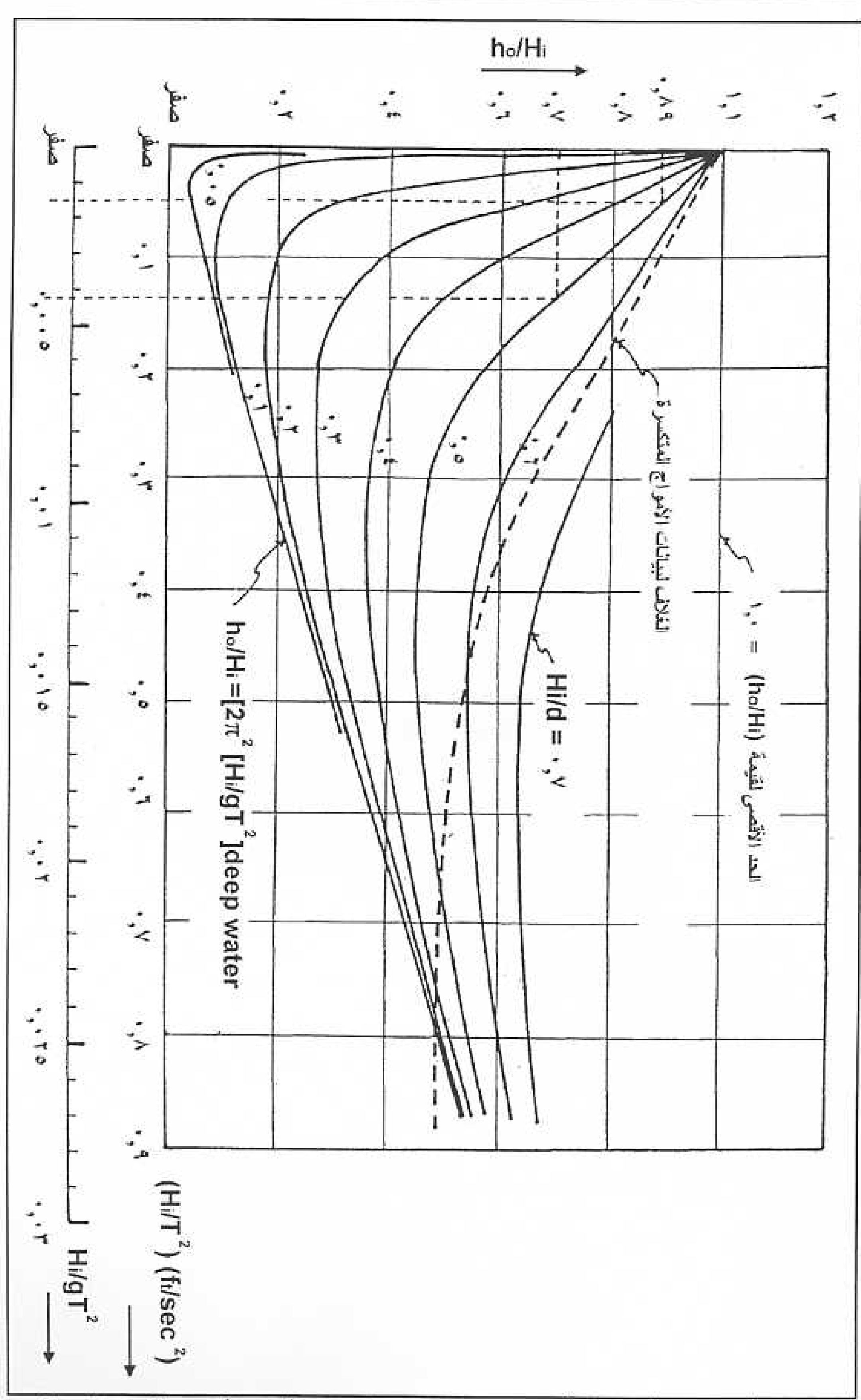
$$y_c = d + ho + [(1+\chi)/2]\, H_i \qquad (4\text{-}15)$$

وكذلك يكون ارتفاع منسوب قاع الموجة الساقطة من قاع البحر "y_t" يساوى:-

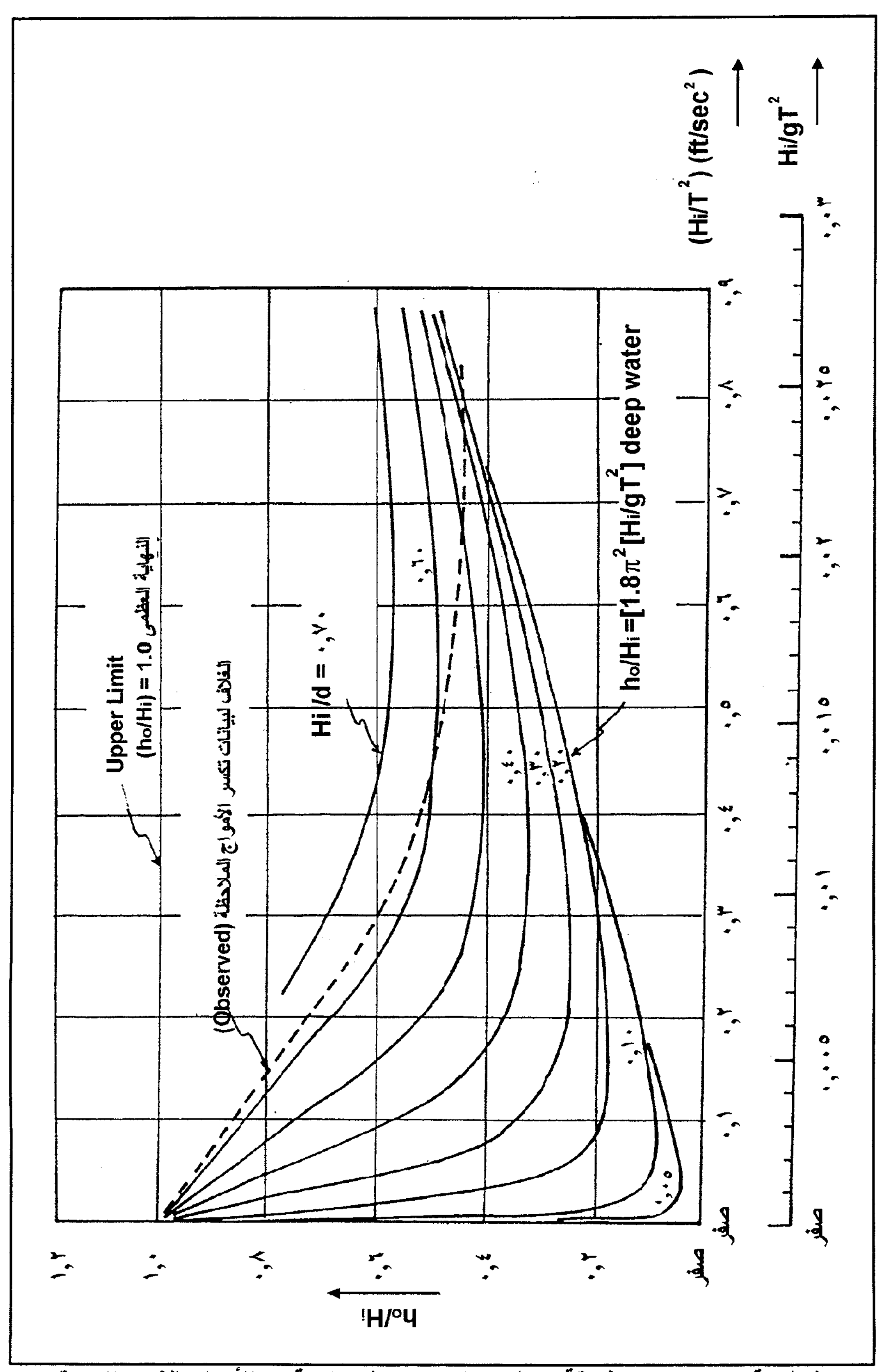
$$y_t = d + ho - [(1+\chi)/2]\, H_I \qquad (4\text{-}16)$$

حيث :

d : عمق المياه من القاع حتى المنسوب الساكن لسطح المياه.
h_o : الارتفاع المتوسط لسطح المياه نتيجة للأمواج أمام الحائط عن المنسوب الساكن لسطح المياه كما هو موضح فى الأشكال (٤-١٣ ، ٤-١٣ أ ، ٤-١٣ ب).



شكل رقم (٤-١٣أ) طريقة "ماك - راند جرن" لحساب قوى الأمواج الغير متكسرة
(معامل الإنعكاس $\chi = 1$)



شكل رقم (٤-١٣ب) طريقة "ماك - راند جرن" لحساب قوى الأمواج الغير متكسرة (معامل الإنعكاس χ = .9)

ومن المعروف أن قيمة معامل الانعكاس χ تعتمد فى المقام الأول على التخطيط الهندسى ومعامل الخشونة للحائط الرأسى ، كما تعتمد أيضا على معامل الانحدار للموجة الساقطة H/L والعلاقة ما بين ارتفاع الموجة والعمق الطبيعي لقاع البحر عند المنشأ.

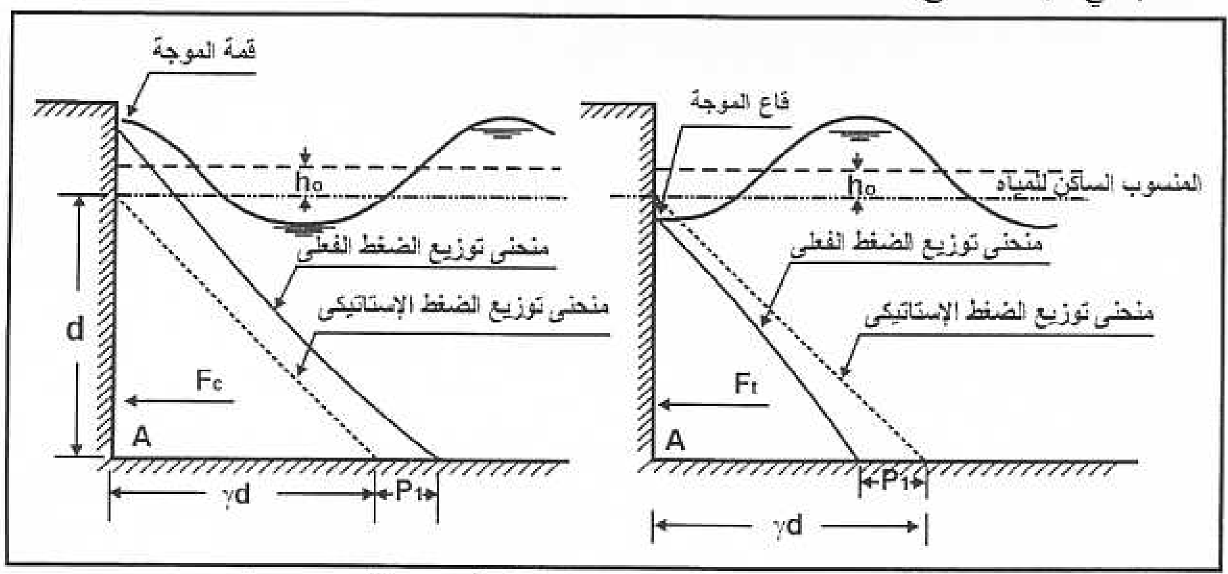
وقد بينت الأبحاث الخاصة بتأثير كل من معامل الانحدار للموجة والعلاقة بين ارتفاع الموجة والعمق الطبيعى على قيمة معامل الانعكاس بأنه كلما زادت قيمة معامل الانحدار والنسبة ما بين ارتفاع الموجة والعمق الطبيعى زادت بالتالى قيمة معامل الانعكاس χ. كما أنه كلما قلت نسبة الخشونة لسطح المنشأ كلما زادت قيمة معامل الانعكاس.

ومن المتعارف عليه فى حساب قوى الضغط على المنشآت الرأسية أن لا تقل قيمة معامل الانعكاس عن ٠,٩ .
ولحساب قوى الضغط الواقع على الحائط الرأسى P_1 نتيجة لاختلاف منسوب المياه تحت تأثير الأمواج الساقطة عليه فإنه يمكن استخدام المعادلة التالية :-

$$P_1 = [(1+\chi)/2]\ \gamma_w H_i / \cosh(2\pi d/L) \qquad (4\text{-}17)$$

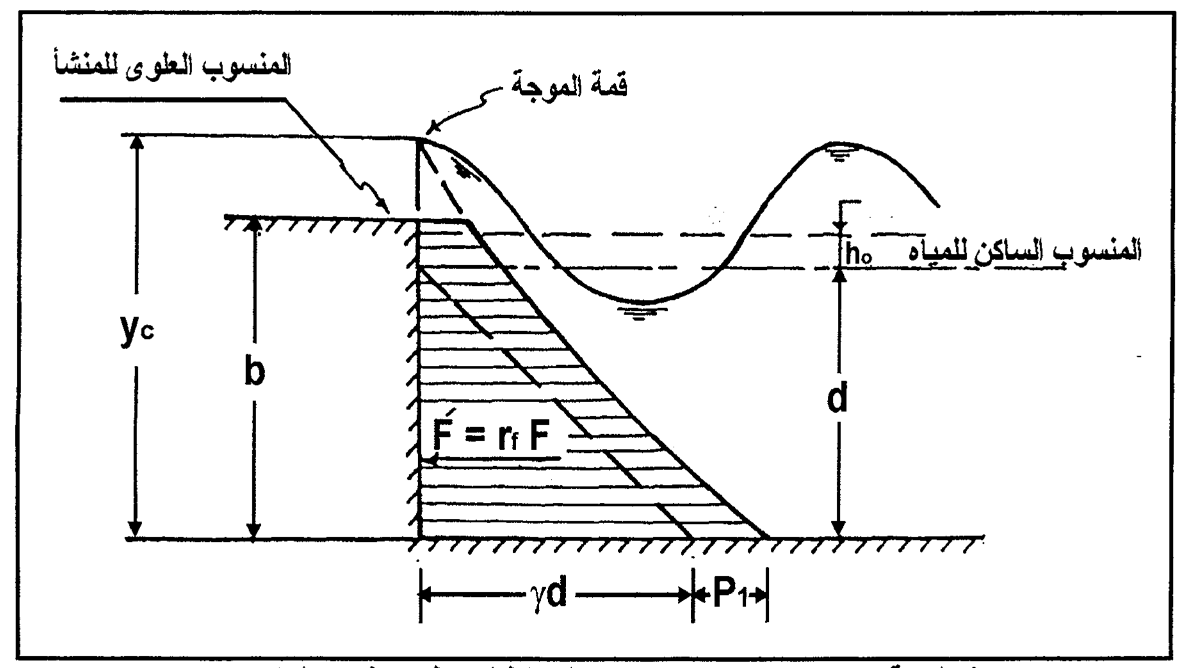
ويعطي الشكل (٤-١٤) رسم تخطيطي لمنحنيات قوى الضغط (الاستاتيكي-الديناميكي) F_t & F_c على حائط رأسي فى حالتي القمة والقاع للموجة الساقطة.

كما يمكن بعد تحديد القوى الأفقية والرأسية حساب قوى العزم التى تؤثر على ثبات المنشأ وتجعله عرضه للانقلاب في اتجاه الشاطئ.



شكل رقم (٤-١٤) منحنى توزيع الضغط للأمواج الغير متكسرة

وفى كثير من الأحيان لا تكون هناك حاجة لوجود حائط رأسى ذو منسوب قمة عال يمنع اندفاع المياه – نتيجة لارتطام الأمواج به – ويحول دون مرور المياه من أعلاه (No-overtopping) ، ففي هذه الحالات يمكن تحديد قوى الأمواج المؤثرة على المنشأ كما تم شرحه مسبقا مع تحديد معامل التخفيض r_f (Reduction Factor) بحيث تصبح القوى المؤثرة على المنشأ فى هذه الحالة F' بدلا من F ، كما هو موضح فى الشكل رقم (٤-١٥) ويمكن حساب معامل التخفيض كالتالي:-



شكل رقم (٤-١٥) منحنى توزيع الضغط لحائط منخفض المنسوب

$$F' = r_f F \qquad (4\text{-}18)$$

حيث :-

r_f = نسبة التخفيض.

$r_f = (b/y)\,(2-(b/y)) \qquad b/y < 1.0$

$r_f = 1.0 \qquad b/y \geq 1.0$

و أن :-

b : ارتفاع المنشأ،

y : معطاة بالعلاقات التالية:-

$y = d + ho + [(1+\chi) / 2]\,Hi$ ……. Crest

$y = d + ho - [(1+\chi) / 2]\,Hi$ …… Trough

وبنفس المنهاج يمكن تعيين قيمة العزم المخفض (M') فى حالة منشأ منخفض المنسوب بحساب قيمة التخفيض للعزم r_m حسب العلاقة التالية:-

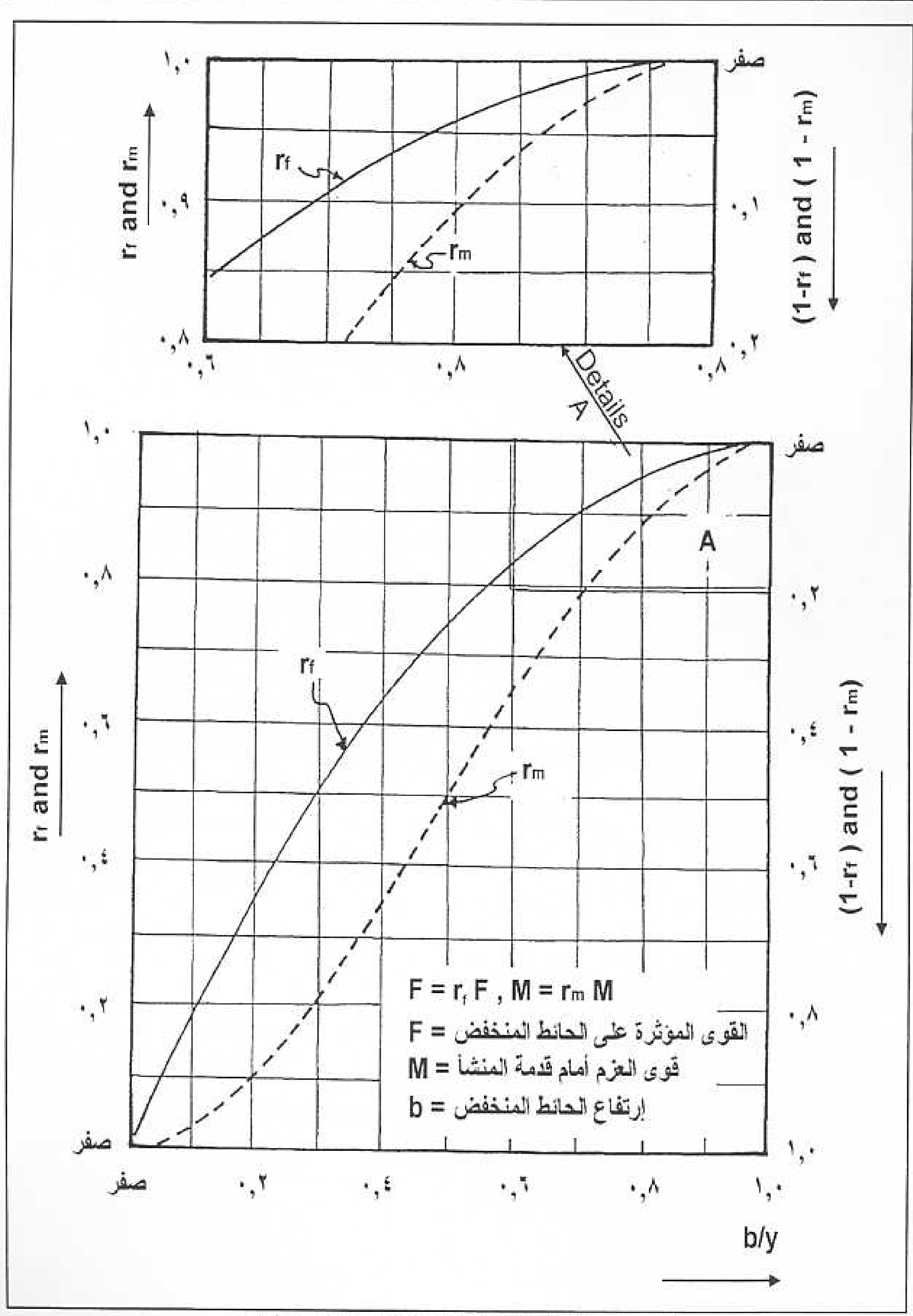
$$M' = r_m M \qquad (4\text{-}19)$$

Since:-

$r_m = (b/y)^2\,(3-(2b/y)) \qquad b/y < 1.0$

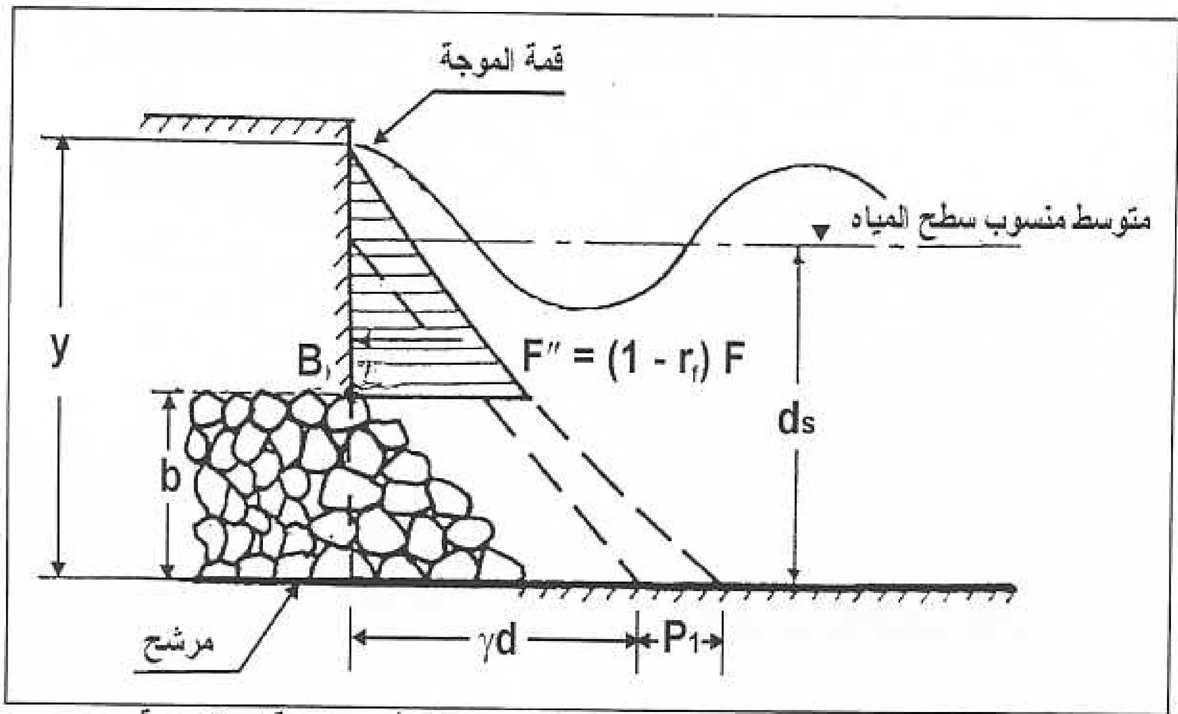
$r_m = 1.0 \qquad b/y \geq 1.0$

ويمكن حساب قيم r_m , r_f من الرسم الموضح فى شكل (٤-١٦).



شكل رقم (٤-١٦) معاملات التقليل للقوى والعزوم

وفى حالة إنشاء حاجز رأسى مؤسس على طبقة كومية – شكل رقم (٤-١٧) – فإن توزيع القوى المؤثرة على المنشأ تتشابه وتوزيع القوى على حائط ذو منسوب غير مرتفع كما فى شكل رقم (٤-١٥). ولكن فى هذه الحالة فإن قيمة المعامل b يكون هو ارتفاع الطبقة الكومية وليس ارتفاع الحائط كما هو موضح فى شكل (٤-١٥).



شكل رقم (٤-١٧) منحنى توزيع الضغط على حائط رأسى على قاعدة كومية

ولهذا يمكن حساب قيمة القوى الفعلية ″ F المؤثرة على الحائط مقارنة بالقوة F التي كان يمكن أن تؤثر على الحائط فى حالة عدم وجود الأساس الكومي بإتباع العلاقة التالية:-

$$F'' = (1 - r_f)\,F \qquad (4\text{-}20)$$

وبالتالي يمكن حساب قوى العزوم الناشئة M''_A حول النقطة A.

$$M''_A = (\,1 - r_m\,)\,M \qquad (4\text{-}21)$$

ولكن فى هذه الحالة يمكن للمنشأ أن يدور حول النقطة B نتيجة لوجود الأساس الكومي وبالتالي يجب حساب قوى العزوم عندها.

$$M''_B = (\,1 - r_m\,)\,M - b\,(\,1 - r_f\,)\,F \qquad (4\text{-}22)$$

أو

$$M''_B = M''_A - bF'' \qquad (4\text{-}23)$$

وتحسب قيم $(1\text{-}r_f)$ و $(1\text{-}r_m)$ كما هو موضح بالشكل رقم (٤-١٦).

٤-٦-١-١-٢ قوى الأمواج المتكسرة Breaking Waves

تؤثر الأمواج المتكسرة على الحائط الرأسي بقوى ديناميكية متكررة خلال فترات زمنية قصيرة. وتبلغ قوة الموجة المتكسرة على المنشأ مداها حين تتكسر قمة الموجة على المنشأ مباشرة نتيجة لتكون وسادة هوائية محجوزة بين قمة الموجة وسطح المنشأ مما يزيد من قيمة القوة المؤثرة على المنشأ. ولهذا فعند تصميم الحوائط الرأسية التى تقع فى منطقة التكسر للأمواج يجب مراعاة حساب القوى الإضافية الناتجة عن اصطدام وتكسر الأمواج.

طريقة مينكين لحساب الأمواج المتكسرة Minikin Method

أسفرت الدراسات والتجارب التى قام بها مينكين على حواجز الأمواج الرأسية عن إيجاد معادلات لحساب قوى الأمواج المتكسرة. وقد أثبتت التجارب أن قيم القوى المحسوبة بهذه الطريقة تزيد حوالى من ١٥ إلى ١٨ مرة عن حالة القوى الناشئة عن الأمواج الغير متكسرة ولهذا يجب توخى الحرص والدقة عند استخدام هذه الطريقة. ويوضح الشكل رقم (٤-١٨) رسم تخطيطى لتوزيع قوى الضغط الاستاتيكي والديناميكي على حائط رأسى نتيجة الأمواج المتكسرة وكذلك يوضح الشكل المعاملات والمتغيرات التى يجب حسابها لتحديد قوى الضغط وهى كالتالي:-

$$P_m = 101\,\gamma\,(H_b/L_D)\;(d_s/D)\,(D + d_s) \qquad (4\text{-}24)$$

حيث :

P_m تمثل قيمة أقصى ضغط ديناميكي واقع على المنشأ.

H_b ارتفاع الموجة المتكسرة.

d_s عمق المياه عند قدمة المنشأ.

D عمق المياه على بعد يساوى طول موجة عن المنشأ.

L_D طول الموجة عند العمق D.

وكذلك يمكن حساب القوة الناشئة عن مركبة الضغط الديناميكي "R_m" كالتالي :-

$$R_m = P_m\,H_b/3 \qquad (4\text{-}25)$$

وعليه فإن قوة العزم "M_m" الناشئة عن مركب الضغط الديناميكي "R_m" تصبح:-

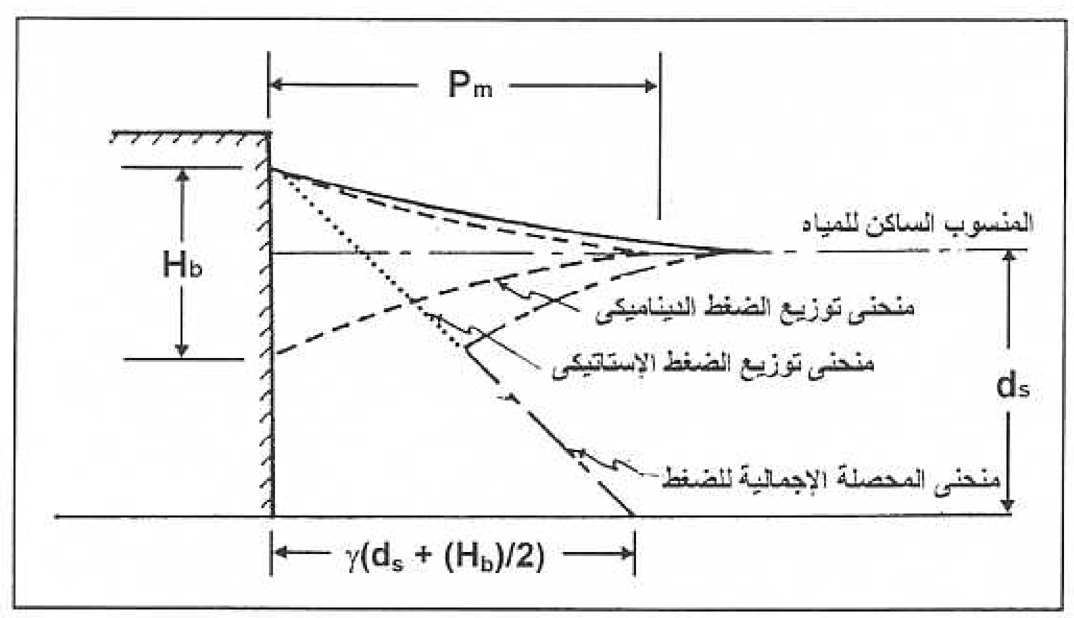
$$M_m = R_m\,d_s = P_m H_b d_s/3 \qquad (4\text{-}26)$$

وبإضافة تأثير قوى الضغط و العزوم الاستاتيكية فإنه يمكن حساب محصلة القوة "R_t" ومحصلة قوى العزوم "M_t" كالتالى :-

$$R_t = R_m + \gamma(d_s+(H_b/2))^2/2 = R_m + R_s \qquad (4\text{-}27)$$

$$M_t = M_m + \gamma(d_s+(H_b/2))^3/6 = M_m + M_s \qquad (4\text{-}28)$$

حيث : M_s & R_s هما قيم القوى و العزوم الاستاتيكية فى محصلة القوى و العزوم.



شكل رقم (٤-١٨) منحنى توزيع قوى الضغط لطريقة مينيكن

٤-٦-١-١-٣ قوى الأمواج المكسورة Broken Waves

في حالة تكسر الأمواج قبل الوصول إلى قطاع الحائط الرأسى فإن جزء كبير من طاقة الأمواج تفقد نتيجة اختلال توازنها بعد تأثرها بالأعماق الضحلة. وفى المنطقة ما بعد التكسر تتحول حركة جزئيات المياه من حركة متذبذبة إلى حركة انتقالية فى اتجاه تقدم الموجة. وتتحرك كتلة المياه باتجاه الشاطئ بسرعة وبارتفاع للموجة متناقصين حتى تصل السرعة والارتفاع إلى صفر عند خط الشاطئ. ويحدد ميل الشاطئ وخصائص الموجة وكذلك طبيعة التربة قيمة ركوب الأمواج على الشاطئ (Wave Run-Up) الذي يمكن أن تصل قيمته إلى ضعف ارتفاع الموجة المتكسرة مقاسه من المنسوب المتوسط لسطح لمياه .

ويمكن إتباع إحدى الطريقتين التاليتين لحساب قوى الأمواج المتكسرة تبعاً لمكان المنشأ من خط التقاء المنسوب المتوسط لسطح المياه مع الميل الطبيعى لقاع البحر:-

(١) قوى الأمواج على حائط يقع أمام المنسوب المتوسط لسطح المياه:-

يتعرض الحائط الواقع أمام المنسوب المتوسط لسطح المياه لقوى ضغط استاتيكية وديناميكية ويوضح شكل رقم (٤-١٩) رسم تخطيطى لتوزيع قوى الضغط على الحائط.

وبفرض أن سرعة تقدم الأمواج C وتتبع العلاقة [$C = \sqrt{gd_b}$] - حيث g تساوى عجلة الجاذبية الأرضية و d_b تساوى عمق المياه عند تكسر الأمواج - لذلك فقوى الضغط الناشئة عن الأمواج يمكن حسابها وتقسيمها كالتالي :-

أولا : قوى الضغط الديناميكى P_m:-

$$P_m = \gamma C^2/(2g) = \gamma d_b/2 \qquad (4\text{-}29)$$

حيث γ تساوى الوزن النوعي لمياه البحر ، وبفرض أن توزيع قوى الضغط الديناميكي متماثل على المنشأ من خط منسوب المياه المتوسط لارتفاع يكافئ ارتفاع الموجة المتكسرة h_c حيث أن h_c تساوى ٠,٧٨ من قيمة ارتفاع الموجة عند منطقة التكسر H_b.

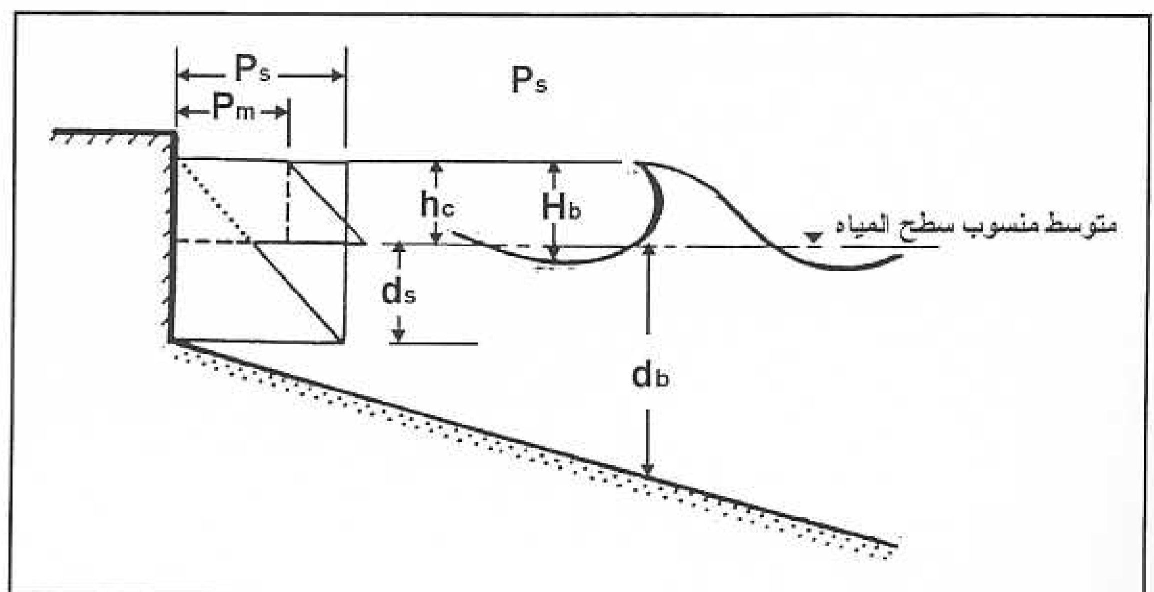
$$h_c = 0.78 \ H_b$$

وعندئذ يمكن حساب محصلة القوى الديناميكية R_m وقوى العزم M_m كالتالي:-

$$R_m = P_m h_c = \gamma d_b h_c / 2 \qquad (4\text{-}30)$$

$$M_m = R_m (d_s + (h_c/2)) \qquad (4\text{-}31)$$

حيث d_s تمثل عمق المنشأ مقاسا من المنسوب المتوسط لسطح المياه.



شكل رقم (٤-١٩) منحنى توزيع قوى الضغط للأمواج المتكسرة للحوائط أمام متوسط منسوب سطح المياه

ثانيا : قوى الضغط الاستاتيكى (P_s):-

$$P_s = \gamma(d_s + h_c) \qquad (4\text{-}32)$$

ويمكن حساب القوى المؤثرة على المنشأ نتيجة لضغط المياه الاستاتيكي R_s وعزم الدوران M_s كالتالي:-

$$R_s = \gamma(d_s + h_c)^2 / 2 \qquad (4\text{-}33)$$

$$M_s = R_s (d_s + h_c) / 3 = \gamma(d_s + h_c)^3 / 6 \qquad (4\text{-}34)$$

وبناء عليه فإنه يمكن حساب محصلة كلا من القوى الاستاتيكية والديناميكية و العزوم الناشئة عن قوى الأمواج R_t , M_t بإتباع العلاقة التالية:-

$$R_t = R_m + R_s \quad (4\text{-}35)$$

$$M_t = M_m + M_s \quad (4\text{-}36)$$

(٢) قوى الأمواج على حائط يقع خلف الدنسوب المتوسط لسطح المياه:-

فى حالة إنشاء الحائط خلف المنسوب المتوسط لسطح المياه كما هو موضح فى الشكل رقم (٤-٢٠) فإنه يمكن تحديد سرعة كتلة المياه V' عند المنشأ فى أى مكان ما بين المنسوب المتوسط لسطح المياه وأقصى منسوب لركوب الأمواج Wave Run-Up بالعلاقة التالية:-

$$V' = C(1-(x_1/x_2)) = \sqrt{gd_b}\,(1-(x_1/x_2)) \quad (4\text{-}37)$$

حيث:

C هي سرعة تقدم الموجة = $\sqrt{gd_b}$.

كما يمكن حساب ارتفاع الموجة ($h`$) مقاسه من منسوب قاع البحر عند المنشأ كالتالي:-

$$h` = h_c\,(1-(x_1/x_2)) \quad (4\text{-}38)$$

حيث:

x_1 = المسافة بين المنشأ والمنسوب المتوسط لسطح المياه.

x_2 = المسافة بين المنسوب المتوسط لسطح المياه وأقصى قيمة لركوب الأمواج.

$$x_2 = 2\,H_b \cot\beta \quad (4\text{-}39)$$

$$= (2\,H_b/m) \quad (4\text{-}40)$$

حيث (β) تمثل زاوية ميل القاع، و($\tan\beta = m$).

وبهذا التحليل ومن الشكل رقم (٤-٢٠) فإنه يمكن حساب قوى الضغط الديناميكية P_m :-

$$P_m = \gamma V'^2/2g = (\gamma\, d_b/2)\,(1-(x_1/x_2))^2 \quad (4\text{-}41)$$

وبالتالي يمكن حساب قيمة القوة و العزوم R_m , M_m:-

$$R_m = P_m h_1 = (\gamma\, d_b\, h_c/2)\,(1-(x_1/x_2))^3 \quad (4\text{-}42)$$

$$M_m = R_m\,(h_1/2) = (\gamma\, d_b\, h^2_c/4)\,(1-(x_1/x_2))^4 \quad (4\text{-}43)$$

أما القوة و العزوم الناشئة عن الضغط الاستاتيكي فيمكن حسابها كالتالي:-

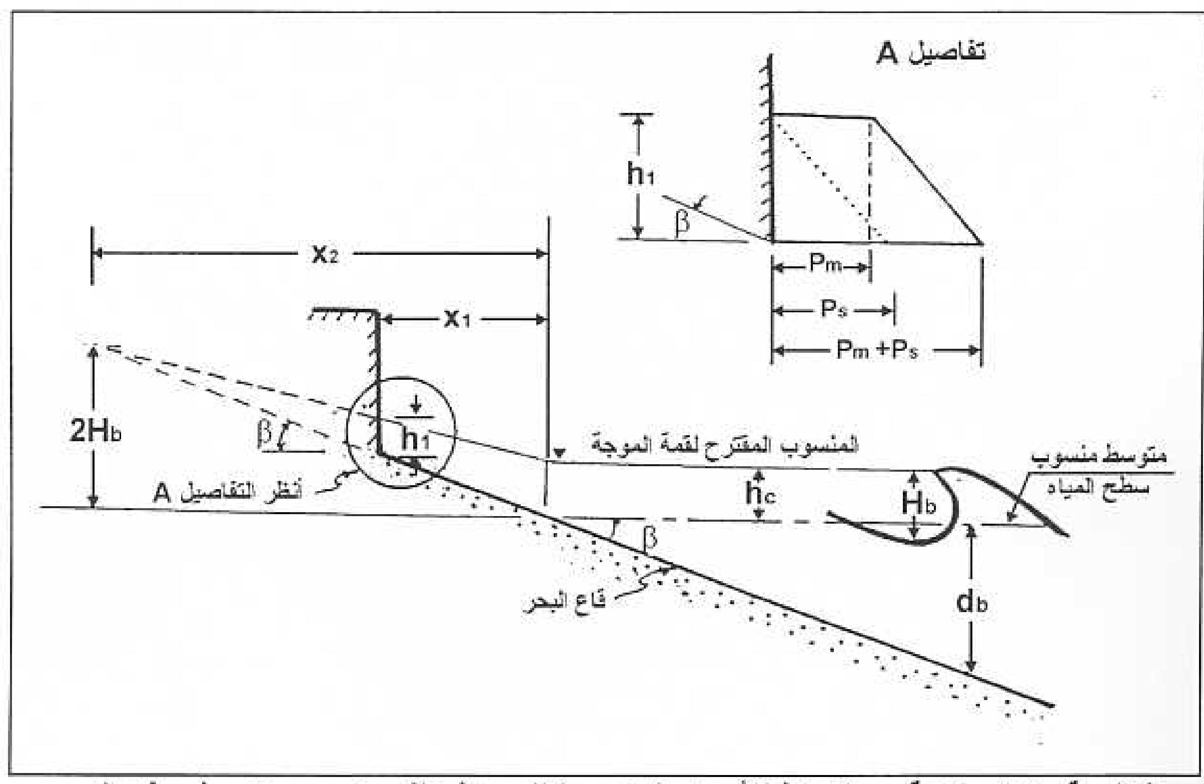
$$R_s = \gamma h_1^2/2 = (\gamma\, h_c^2/2)\,(1-(x_1/x_2))^2 \quad (4\text{-}44)$$

$$M_s = R_s\,(h_1/3) = (\gamma\, h_c^3/6)\,(1-(x_1/x_2))^3 \quad (4\text{-}45)$$

وبناء على ذلك فإن محصلة القوى المؤثرة على المنشأ تصبح:-

$$R_t = R_m + R_s \tag{4-46}$$

$$M_t = M_m + M_s \tag{4-47}$$



شكل رقم (٤-٢٠) قوى الضغط للأمواج المكسورة للحوائط خلف منسوب متوسط سطح البحر

٤-٦-١-٢ ضغط التربة (Earth Pressure)

نورد في هذا البند وفي البنود المتفرعة منه مختصر عن موضوع حساب ضغط التربة ويرجع إلى الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات / الجزء السابع الخاص بالمنشآت الساندة للمزيد من المعلومات.

من المعلوم أن قوى ضغط التربة تنشأ خلف المنشآت الساندة وهي تعتمد فى المقام الأول على خصائص التربة ونوعيتها وعلى نوعية سطح المنشأ الملاصق للتربة، كما تعتمد على درجة دمك التربة ونسبة التشبع بالماء وشكل الردم الخلفى. وأثناء تصميم المنشأ يجب حساب توزيع الضغط الناتج عن الردم الخلفى لضمان سلامة المنشأ .ويمكن تقسيم ضغط التربة إلى نوعين رئيسيين:-

٤-٦-١-٢-١ ضغط التربة الفعّال (Active Earth Pressure)

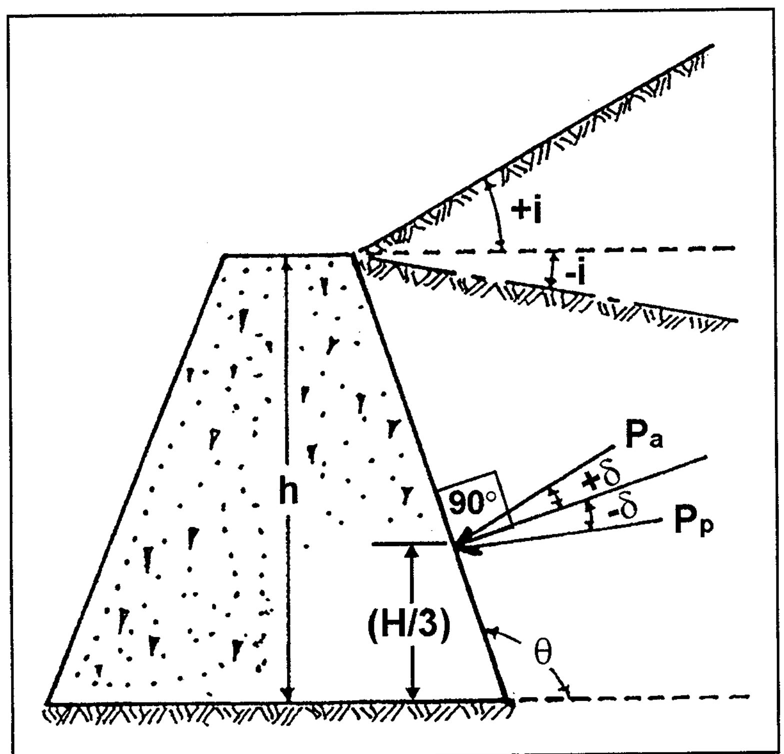
هو الضغط الأدنى الناشئ على السطح أو الأسطح الخلفية للمنشأ الساند للتربة أو للردم الخلفي. وإذا لم يقاوم المنشأ هذا الضغط الأدنى بكفاءة فإن جزء من كتلة التربة المستند على المنشأ سوف ينهار ويتحرك أو ينزلق لأسفل. ويمكن حساب القوى الواقعة على المنشأ الساند من هذه الضغوط فى صورتها العامة بالمعادلة التالية:-

$$P_a = (\gamma h^2/2)[\csc\theta \sin(\theta-\phi)/(\sqrt{\sin(\theta+\delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-i)}{\sin(\theta-i)}})]^2 \quad (4\text{-}48)$$

حيث :-

P_a = قوى الضغط الفعّال على وحدة الطول من الحائط.
γ = الوزن النوعي للتربة.
h = ارتفاع الحائط وهو مساو لارتفاع الردم الخلفي.
θ = زاوية ميل الحائط (بالدرجات) مع الأفقي.
i = زاوية ميل الردم (بالدرجات)مع الأفقي.
ϕ = زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة (بالدرجات).
δ = زاوية الاحتكاك لسطح الحائط (بالدرجات).
csc = cosec.

ويعطي الشكل رقم (٤-٢١) توضيحا للمعاملات الواردة بالمعادلة السابقة.

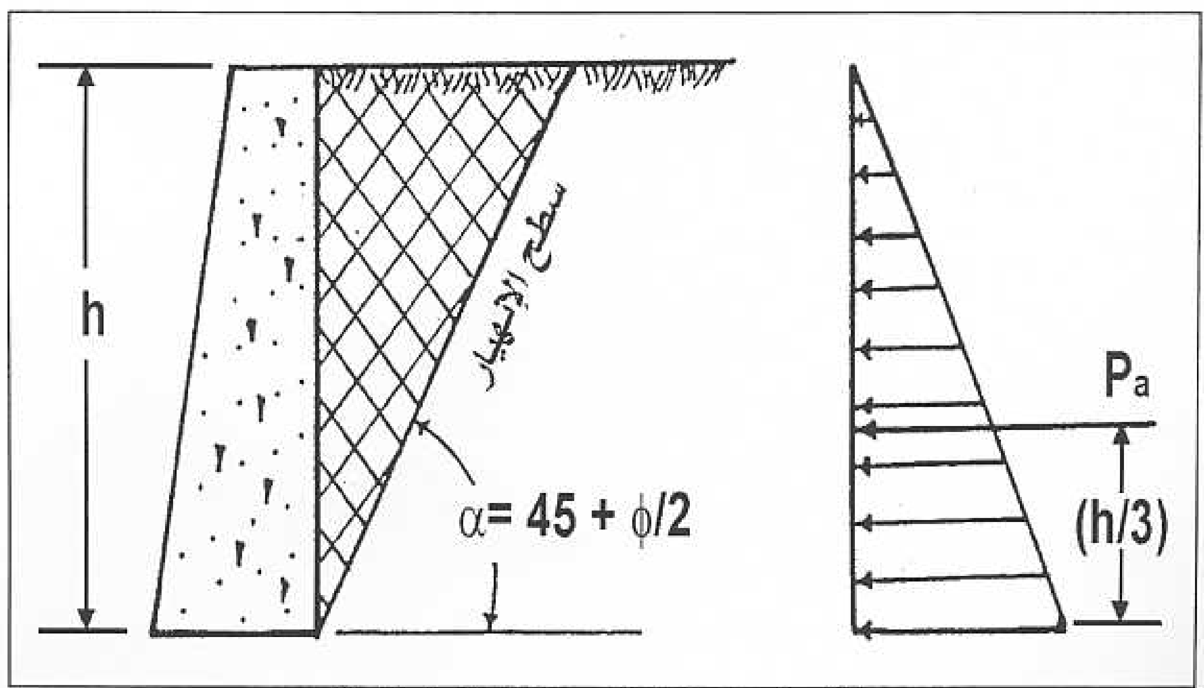


شكل رقم (٤-٢١) توضيح لمعاملات حساب قوى الضغط الفعال الناشيء عن التربة

أما فى حالة الحائط الرأسى θ = ٩٠° وميل الردم الخلفى $i = \delta$ فأن المعادلة (٤-٤٧) تؤول إلى معادلة Rankine ، وفى حالة ($i = 0^\circ$) أي عندما يكون سطح الردم الخلفي أفقي فإن معادلة حساب قوى الضغط الفعّال للتربة تؤول إلى المعادلة المبسطة التالية:-

$$P_a = (\gamma h^2 / 2) \tan^2 (45-(\phi/2)) \quad (4\text{-}49)$$

ويعطـي الشكل رقم (٤-٢٢) توضيحا للمعاملات الواردة في حساب قوى الضغط الفعّال للتربة لتلك الحالة المبسطة. كما يعطي الجدول رقم (٤-٥) قيما تقريبية للوزن النوعي ولزاوية الاحتكاك الداخلي لبعضا من أنواع التربة الأكثر انتشارا. كذلك يعطي الجدول رقم (٤-٦) قيما تقريبية لزاوية الاحتكاك بين التربة والمنشـــــآت مع مراعاة ألا تزيد هذه القيم عن ٠,٧٥ من قيمـة زاوية الاحتكـاك الداخلي (ϕ) للتربة المستخدمة فى أعمال الردم الخلفي.



شكل رقم (٤-٢٢) قوى الضغط الفعال للتربة

٤-٦-١-٢-٢ ضغط التربة المقاوم (Passive Earth Pressure)

هو الضغط الواقع على المنشأ والمصاحب لأقصى مقاومة ممكنة من التربة في حالة دفع (إزاحة) المنشأ لها. وفي حالة تجاوز ضغط المنشأ على التربة هذه القيمة تنهار التربة أو تنزلق إلى أعلى ويتم حساب قوى الضغط المقاوم للتربة من المعادلة التالية :

$$P_p = (\gamma h^2 / 2)[\csc\theta \sin(\theta+\phi)/(\sqrt{\sin(\theta+\delta)} - \sqrt{\sin(\phi-\delta)\sin(\phi+i)/\sin(\theta-i)})]^2 \tag{4-50}$$

ويجب ملاحظة أن اتجاه تأثير القوى P_p يقع أسفل العمودى على المنشأ بمقدار الزاوية ($-\delta$) بينما اتجاه تأثير القـــوى P_a يقع أعلى العمودى على المنشأ بمقدار الزاوية ($+\delta$) كما هو موضح فى الشكل رقم (٤-٢١).

وبإتبـاع نفس المنهج المبسط فى حساب قوى الضـغط الفعّال للتربة فإنه يمكن الحصول على المعادلة المبسطة لحساب قوى الضغط المقاوم للتربة كالتالي:-

$$P_p = (\gamma h^2/2) \tan^2 (45^{\circ}+(\phi/2)) \tag{4-51}$$

جدول رقم (٤-٥) الوزن النوعى وزاوية الإحتكاك الداخلى لأنواع التربة المختلفة

Classification	Unit Weight t/m³					
	Dry		Wet		Submerged	
	Min. (loose)	Max. (dense)	Min. (loose)	Max. (dense)	Min. (loose)	Max. (dense)
Grandular Materials.						
<u>Uniform Materials</u>						
Standard Ottawa SAND	2.61	3.121	2.638	3.716	1.617	1.957
Clean, uniform SAND (fine or Medium)	2.355	3.348	2.383	3.858	1.475	2.07
Uniform, inorganic SILT.	2.27	3.348	2.298	3.858	1.447	2.07
<u>2. Well-Graded Materials</u>						
Silty SAND	2.468	3.603	2.497	4.029	1.532	2.241
Clean, Fine to coarse SAND	2.411	3.915	2.44	4.199	1.504	2.44
Micaceous SAND	2.156	3.404	2.185	3.915	1.361	2.156
Silty SAND and GRAVEL.	2.525	4.142	2.55	4.397	1.589	2.61
<u>MIXED SOILS</u>						
Sand or silty CLAY	1.7	3.83	2.84	4.17	1.08	2.41
Skip-graded silty CLAY with stones or rock frgments.	2.38	3.97	3.26	4.28	1.5	2.52
Well-graded GRAVEL, SAND, SILT and CLAY mixture.	2.84	4.2	3.55	4.43	1.76	2.67
<u>CLAY SOILD</u>						
CLAY (30 to 50 percent clay sizes)	1.42	3.28	2.67	3.77	0.88	2.01
Colloidal CLAY (-0.002 mm. ≥ 50 percent)	0.37	3.01	2.01	3.63	0.23	1.87
<u>ORGANIC SOILS</u>						
Organic SILT	1.13	3.12	2.47	3.72	0.71	1.96
Organic CLAY (30 to 50 percent clay sizes).	0.85	2.837	2.298	3.55	0.51	1.76

تابع جدول (٤-٥) الوزن النوعى وزاوية الإحتكاك الداخلى لأنواع التربة المختلفة

Classification	Friction Angle ϕ (degrees)	Desity or Consistency	Unit Weight (t/m^3)		
			Soil	Equivalent Fluid	
				Active Case	Passive Case
Coarse SAND or SAND and GRAVEL	45	Compact	3.97	0.68	23.3
	38	Firm	3.4	0.82	14.5
	32	Loose	2.56	0.79	8.2
Medium SAND	40	Compact	3.69	0.79	17
	34	Firm	3.12	0.88	11.06
	30	Loose	2.56	0.85	7.66
Fine SAND	34	Compact	3.69	1.05	13.1
	30	Firm	2.84	0.94	8.5
	28	Loose	2.41	0.88	7.9
Fine, Silty SAND or Sandy SILT	32	Compact	3.69	1.13	11.9
	30	Firm	2.84	0.94	8.5
	28	Loose	2.41	0.88	7.9
Fine, Uniform SILT	30	Compact	3.83	1.28	11.3
	28	Firm	3.12	1.07	8.5
	26	Loose	2.41	0.94	6.24
CLAY – SILT	20	Medium	3.4	1.67	6.95
		Soft	2.56	1.25	5.19
Silty CLAY	15	Medium	3.4	2.01	5.79
		Soft	2.56	1.5	4.34
CLAY	10	Medium	3.4	2.38	4.82
		Soft	2.56	1.5	4.34
CLAY	0	Medium	3.4	3.4	3.4
		Soft	2.56	2.56	2.56

جدول (٤-٦) زوايا الإحتكاك لسطح الحائط ومعامل الإحتكاك لأنواع التربة المختلفة

Surface, Stone-Brick-Concrete	Coefficient of Friction, μ	Angle of Wall Friction, δ
On Dry Clay	**0.50**	**26°40`**
On Wet or Moist Clay	**0.33**	**18°20`**
On Sand	**0.40**	**21°50`**
On Gravel	**0.60**	**31°00`**

ملحوظة :

يجب تخفيض قيمة زاوية الإحتكاك لسطح الحائط بحوالى ٥ درجات إذا كان الردم الخلفى سوف يدعم Support أحمال ناشئة من السكك الحديدية أو شاحنات . وبذلك يكون معامل الإحتكاك μ يساوى ظل الزاوية δ .

٤-٦-٢ أنواع منشآت الحماية غير الكومية

تشتمل منشآت الحماية الغير كوميه على الأنواع التالية :-

** الرؤوس البحرية المكونة من القيسونات الخرسانية.
** الرؤوس البحرية المشكلة من الستائر اللوحية.
** الحوائط البحرية.
** الحوائط البحرية المقامة على خوازيق.

٤-٦-٣ الرؤوس البحرية من القيسونات الخرسانية

٤-٦-٣-١ المتطلبات العامة للتصميم

يراعى فى تصميم القيسون مقاومته للقوى التي تؤثر علي جسم القيسون فى المراحل التالية:-

- مرحلة رفعه من موقع صبه ونقله إلى موقع تنزيله.
- مرحلة استخدامه بكونه رأس بحري.

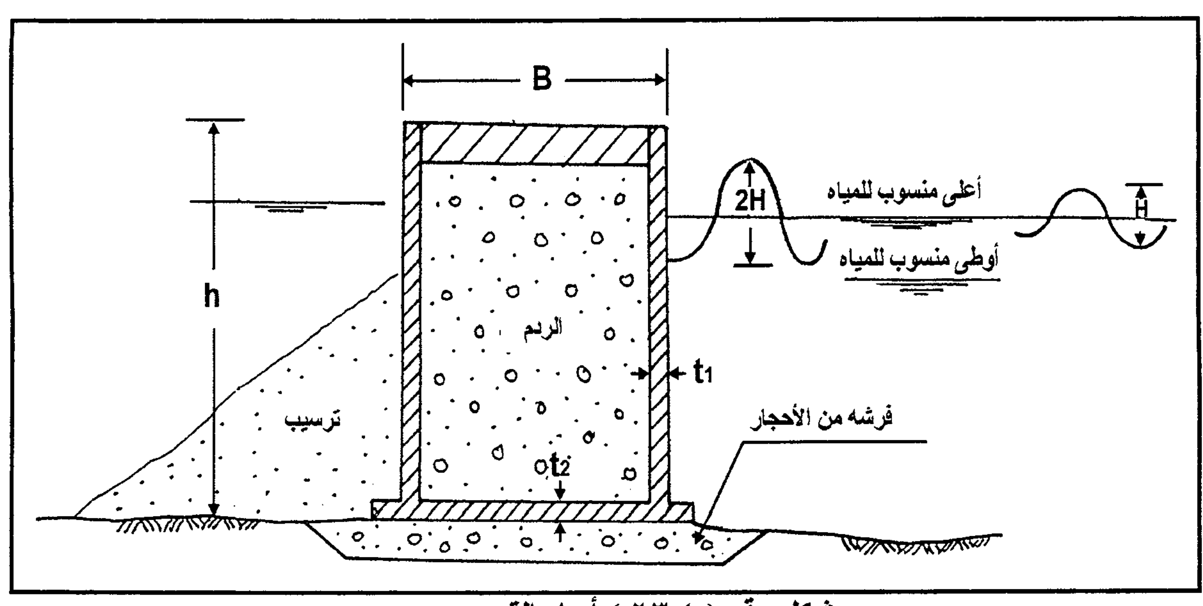
ويشمل تصميم القيسون [شكل (٤-٢٣)] تحديد الآتي:-

- أبعاد القيسون (العرض "B" - والارتفاع "h").
- سمك وتفاصيل حوائط القيسون وقاعدته.

حيث:-

h : ارتفاع القيسون = عمق المياه بموقع القيسون عند أعلى مد + ارتفاع الموجة المهاجمة + ١ متر تقريبا.

B : عرض القيسون = وهو يحدد من حسابات اتزان القيسون، وله حد أدنى يوازي عرض الطريق المطلوب لحركة معدات الصيانة.



شكل رقم (٤-٢٣) أبعاد القيسون

٤-٦-٣-٢ تصميم القيسون الخرسانى

٤-٦-٣-٢-١ تصميم القيسون كرأس بحرى

أ) القوى المؤثرة على القيسون الخرساني:-

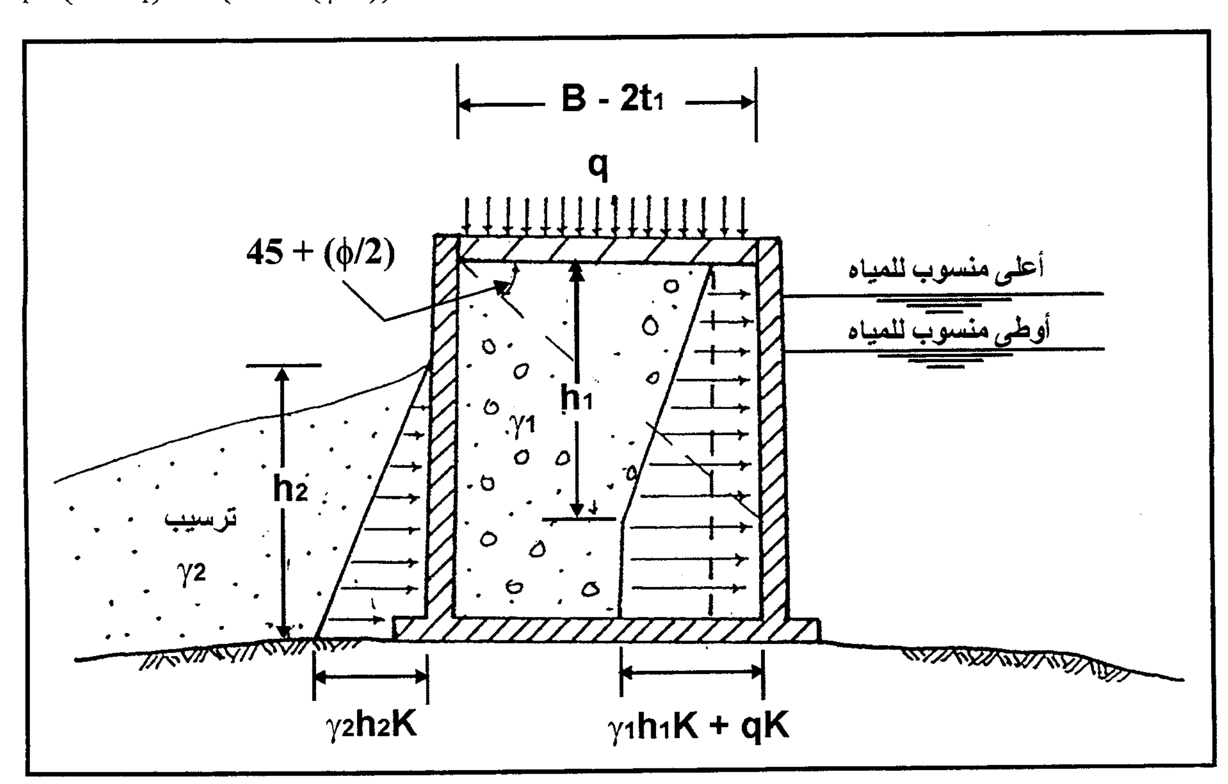
(١) قوى الأمواج:-
يرجع فى ذلك إلى بند (٤-٦-١-١).

(٢) قوى ضغط التربة داخل القيسون وخارجه:-
يوضح شكل (٤-٢٤) توزيع ضغط الردم الداخلي وضغط التربة الخارجي على حوائط القيسون، وهما على النحو التالي:-

* ضـــغط الردم على الحوائــط من الداخل وهو يبلـغ قيمتـه الـعظمى عند عمق (h_1) ويساوي $q\,K + \gamma_1\,h_1\,K$ حيث :

K معامل ضغط تربة الردم داخل القيسون ويؤخذ حوالى ٠,٦.
γ_1 الوزن الحجمي لتربة الردم وهى مشبعة بالماء (Saturated).
q الحمل الحي الواقع على الهامة.

$$h_1 = (B-2t_1)\tan(45 + (\phi/2))$$



شكل رقم (٤-٢٤) توزيع ضغط التربة على حوائط القيسون

أما توزيع الضغط الخارجى الناتج عن ترسيب التربه فهو $\gamma_2 K_a h_2$ عند قاعدة القيسون حيث:

γ_2 : الوزن الحجمي للتربة المترسبة المغمورة أسفل المياه وعادة تكون قيمته (٠,٩ طن /م٣ تقريبا).

ϕ : زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة الردم داخل القيسون .

k_a : معامل ضغط التربة المترسبة (=٠,٣٣).

h_2 : ارتفاع التربة المترسبة أمام القيسون.

(٣) القوى الرأسية:-

W = وزن جسم القيسون الخرسانى + وزن الردم بداخله + الحمل الحى الموزع على الهامة (q) ويحسب وزن الردم على أساس أنه مشبع بالمياه.

(٤) قوى التعويم:-

- وهذه القوى تعادل وزن حجم الماء المزاغ وتحسب لحالتين:-

الحالة الأولى : حالة المد العالى (M.H.W.L.).

وتستخدم هذه الحالة عند حساب اتزان القيسون فى مقاومة الانزلاق أو الانقلاب تحت تأثير القوى الأفقية الخارجية كالأمواج وضغط التربة شكل رقم (٤-٢٥).

الحالة الثانية : حالة الجزر الواطي (M.L.W.L.).

وتستخدم هذه الحالة عند حساب الجهد الواقع على تربة التأسيس شكل رقم (٤-٢٦).

ب) اتزان القيسون:-

(١) مقاومة الانزلاق (Sliding):-

$$F.S. = \mu W / F_w \qquad \text{= معامل الأمان} \qquad (4\text{-}52)$$

(٢) مقاومة الانقلاب:-

$$F.S. = \frac{W.B/2}{F_w . h_w} \qquad \text{= معامل الأمان} \qquad (4\text{-}53)$$

حيث:-

W : محصلة القوى الرأسية (وزن القيسون + وزن الردم بداخله - قوى التعويم) وتحسب فى حالة منسوب المياه العالية ، شكل (٤-٢٥).

F_w : محصلة القوى الأفقية (وأساساً هى قوى الأمواج).

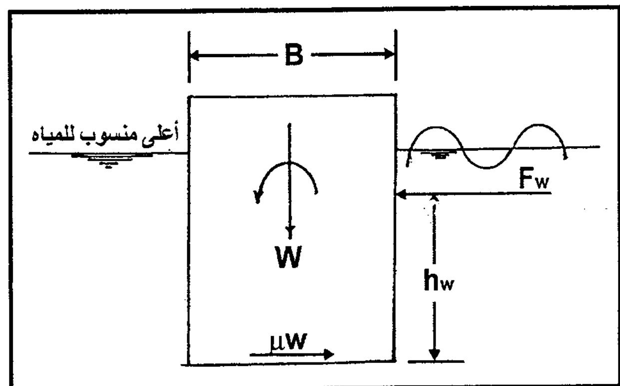
h_w : ارتفاع نقطة تأثير القوى الأفقية عن سطح التأسيس.

B : عرض القيسون.

μ : معامل الاحتكاك بين قاعدة القيسون وتربة التأسيس أسفلها.

F. S. : معامل الأمان $\geq$ ١,٣.

وفى حالة أخذ تأثير قوى الزلازل في الاعتبار يكون معامل الأمان مساوياً ١,١ .



شكل رقم (٤-٢٥) القوى المؤثرة على القيسون لحساب إتزانه ضد الإنزلاق والإنقلاب

(٣) مقاومة الهبوط:-

يمكن حساب جهد التحميل على التربة من خلال المعادلة:-

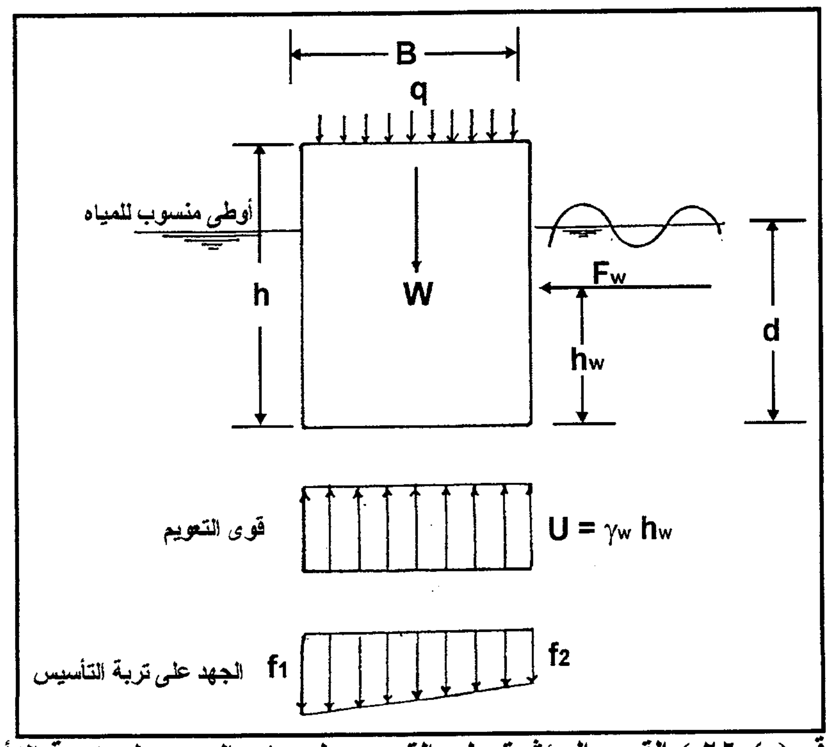
$$f_{1,2} = (W/B) \pm (F_w \,.\, h_w) / (B^2/6) \qquad (4\text{-}54)$$

حيث:-

f_1 : الضغط الأقصى الواقع من القيسون على تربة التأسيس ولا يزيد عن الجهد التصميمي لتحمل للتربة.

f_2 : الضغط الأدنى على تربة التأسيس ، ولا يقل عن سدس الجهد الأقصى لضمان عدم انفصال القاعدة عن سطح التأسيس.

W : محصلة القوى الرأسية بما فى ذلك الحمل الحى ، وتحسب فى حالة المنسوب الأدنى للمياه، شكل (٤-٢٦).



شكل رقم (٤-٢٦) القوى المؤثرة على القيسون لحساب الجهد على تربة التأسيس

٤-٦-٣-٢-٢ تصميم القيسون فى مرحلة المناولة

وهى مرحلة تنزيل القيسون إلى الماء ونقله إلى موقعه وتتم هذه المرحلة إما باستخدام ونش عملاق أو بتعويم القيسون وسحبه إلى موقع تنزيله ومن ثم يكون التصميم وفقا للأسلوب المتبع وعلى النحو التالي:-

أ) ففي حالة نقل القيسون بواسطة ونش عائم عندما يجري تصنيع القيسون على ساحة أحد الأرصفة، تكون القوى المؤثرة فى التصميم هي:-
القوى الرأسية = الفرق بين وزن القيسون وقوى التعويم وهي كما يلي:-

$$T = W - A\, h\, \gamma_w$$

حيث أن h هى ارتفاع الجزء المغمور من القيسون.
وتستخدم هذه القوة في تصميم الجوايط اللازمة لرفع القيسون والتى يراعى فيها ما يلي:-

** يكون الحد الأدنى لعدد الجوايط أربعة لضمان اتزان القيسون أثناء الرفع من على ساحة الصب وأثناء التنزيل فى موقعه.
** ألا يقل معامل الأمان عند تصميم الجوايط عن ٢,٠٠.
** لضمان تأثير قوى الرفع رأسيا على القيسون يستخدم هيكل حديد (ميزان) بنفس طول وعرض القيسون تثبت فيه ويرات الرفع المثبتة في الجوايط من جهة ومن الجهة الأخرى مثبت فيه ويرات الرفع المعلقة في مخطاف (Hook) الونش العائم (حتى لا يتعرض القيسون إلى قوى عزم الانحناء أثناء الرفع).
** يكون معامل الأمان فى تصميم ويرات الرفع ٥,٠٠ (خمسة) على الأقل وفي جميع الأحوال.

ويصمم الجاويط كما يلي:-

- القوة فى كل جاويط $T = W/n$
- مساحة المقطع $a = T/f_s$
- قطر الجاويط

$$\phi = 2\sqrt{a/\pi} + \Delta\phi \qquad (4\text{-}55)$$

- طول الجاويط فى الخرسانة (L) هو كما يلي:-

$$L = T\,.(F.\,S.)\ /\ \pi\,.\,\phi\,.\,F_b \qquad (4\text{-}56)$$

حيث:-

W	: مجموع الأحمال المطلوب رفعها (القيسون فارغ + ... الخ).
T	: قوة الشد فى الجاويط.
n	: عدد الجوايط (لا يقل عن ٤).
ϕ	: قطر الجاويط.
$\Delta\phi$	: الزيادة فى القطر لأعمال القلوظة.
F_b	: جهد الالتصاق بالخرسانة.
F. S.	: معامل الأمان ولا يقل عن ٢.
f_s	: جهد الشد المسموح به للحديد.

(ب) في حالة سحب القيسون عائما يتم تعويم القيسون ثم سحبه إلى الموقع وعادة يكون ذلك عند تصنيع القيسون على قزق أو داخل أحد الأحواض (العائمة أو الجافة) ، ومن ثم تكون القوى الخاصة بالتصميم على النحو التالي:-

١- القوى المؤثرة على القيسون:-

** قوى رأسية هي وزن الجسم الخرساني للقيسون وأي أوزان أخرى مضافة لضمان الاتزان وهى تعادل القوى اللازمة لتعويم القيسون متزناً.

** قوى أفقية هي قوة السحب = P

$$P=(\gamma_w/2g)\ (V^2\ C_D\ (B\ d_t)) \qquad (4\text{-}57)$$

حيث

V : سرعة القاطرة = سرعة القيسون المسحوب.

C_D : معامل الجر (السحب) فى الماء = .Drag Coeff = ٢,٢.

d_t : ارتفاع الجزء المغمور من القيسون فى الماء (غاطس).

ويجب أن يراعى أن تكون ويرات السحب بطول كاف بحيث لا يتأثر القيسون بالتيارات المائية المنبعثة من رفاصات قاطرة السحب.

٢- لضمان اتزان القيسون أثناء سحبه عائما يجرى حساب الاتزان أثناء السحب وفقا لما يلي:-

** مركز ثقل القيسون (بما فيه الأحمال الإضافية اللازمة للاتزان) C. G.

** مركز التعويم Center of Buoyancy C.B.

** مركز الاتزان Mita Center M.C.

لضمان اتزان القيسون يلزم أن يكون:-

$$\overline{MB}\ \ \overline{MG} < \qquad (4\text{-}58)$$

وذلك كما هو موضح بالشكل (٤-٢٧). ولخفض منسوب مركز الثقل (G) يمكن إضافة أوزان اتزان بقاع القيسون. وكذلك لرفع منسوب مركز التعويم (B) يمكن إضافة عوامات تثبت بجسم القيسون.

٣- تصميم عناصر القيسون:-

يصمم القيسون من الخرسانة المسلحة كمنشأ خرساني خال من الشروخ (Un-cracked section).

** **تصميم الحوائط [راجع شكل (٤-٢٨)]:-**

* تحت تأثير قوى ضغط المياه من الخارج:

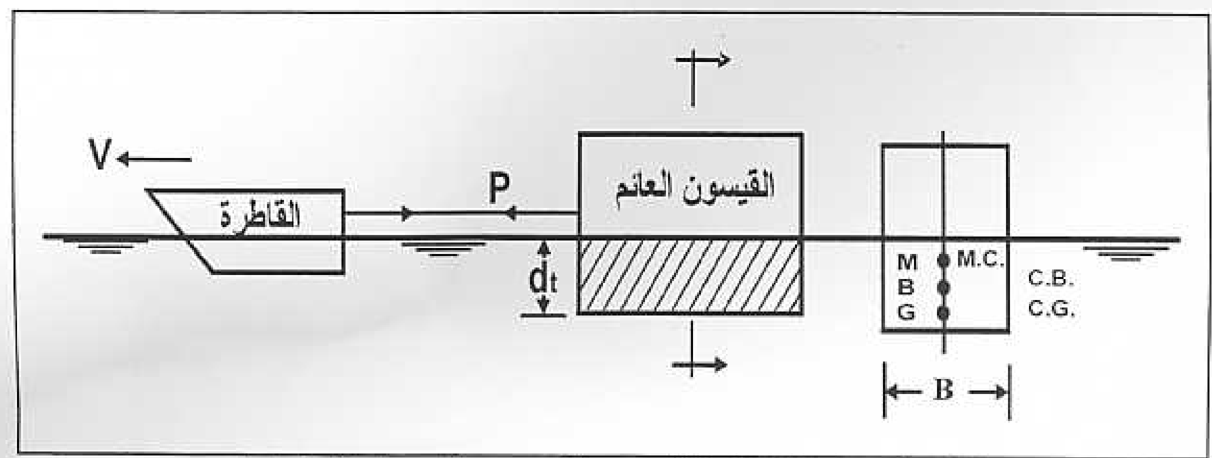
وهذه تكون أثناء مرحلة تنزيل القيسون فى موقعه وقبل ملئه بالرمال حيث تكون القوى الخارجية هي المتحكمة فى التصميم.

* تحت تأثير قوى ضغط التربة بداخله:

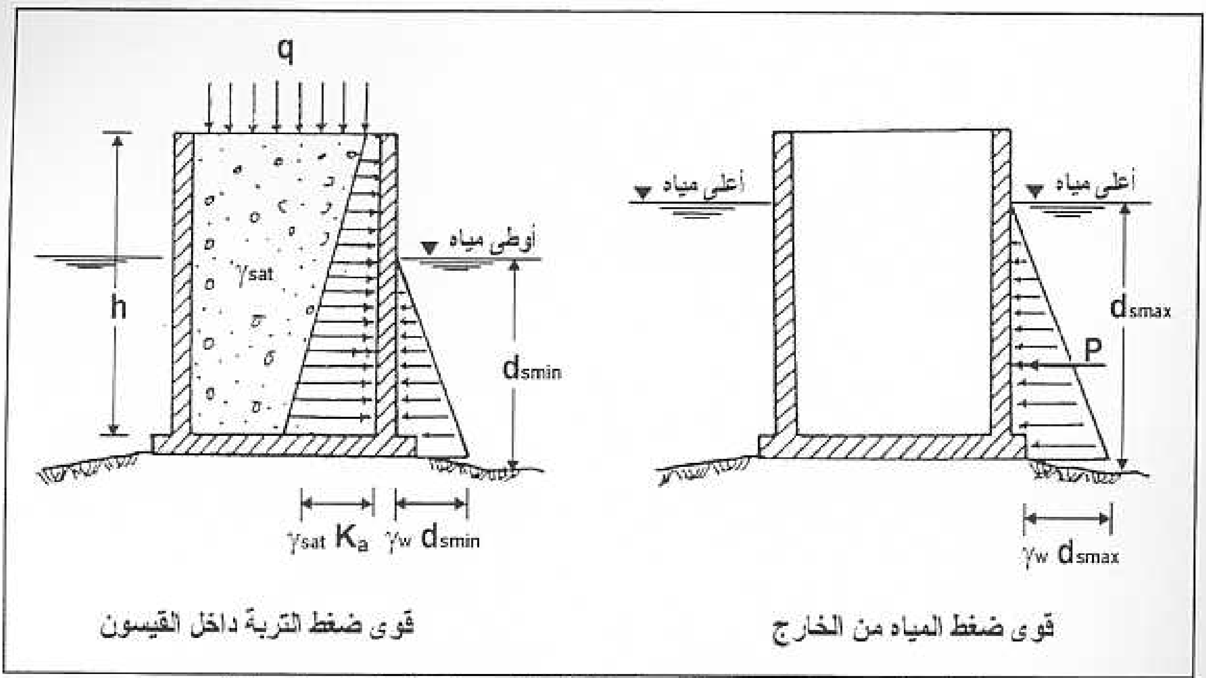
وهذه فى مرحلة ما بعد تنزيل القيسون وملئه بالرمال (المشبعة بالمياه).

** تصميم قاعدة (أرضية) القيسون:-

تصمم قاعدة القيسون تحت تأثير رد فعل الجهد الصافى (Net Stress) على التربة أسفل القيسون.



شكل رقم (٤-٢٧) طريقة سحب القيسون والقوى المؤثرة عليه



شكل رقم (٤-٢٨) الحالات المختلفة للقوى المؤثرة على الحوائط

٤-٦-٤ الرؤوس البحرية من الستائر اللوحية

٤-٦-٤-١ وصف المنشأ

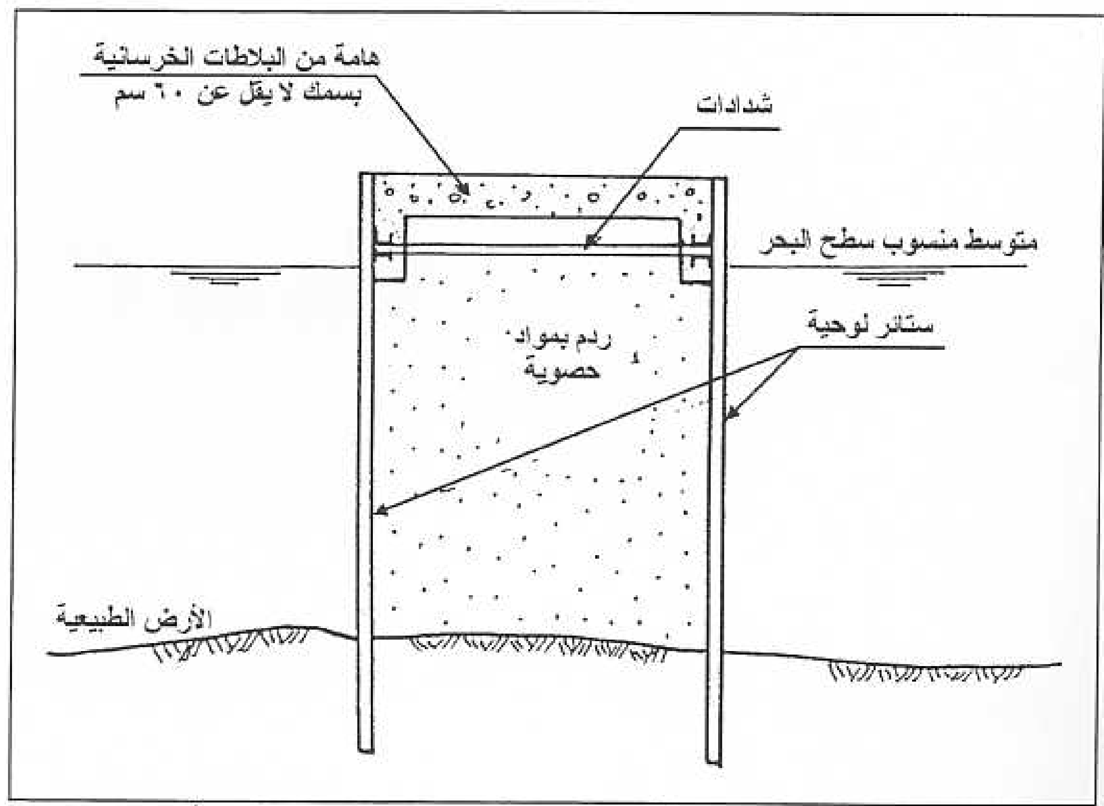
تتكون رأس الحماية من صفين من الستائر اللوحية يربط كل منهما بالآخر بالشدادات كما هو موضح بالشكل (٤-٢٩)، و تراعى في إنشائها ما يلي:-

** يتم الردم ما بين الحوائط بمادة حصوية (granular) كالرمال الخشنة أو كسر الأحجار وتفضل الأخيرة حتى لا يتعرض الردم للهروب فى حالة تواجد ثقوب فى جسم الحائط نتيجة للصدأ مع الوقت ويجب دمك مواد الردم جيدا.

** يتم عزل الشدادات وسطح الستائر (المواد الحديدية بوجه خاص) لرفع قدرتها على مقاومة تأثير مياه البحر.

** يغطى الردم بواسطة بلاطات سميكة من الخرسانة العادية (لا تقل عن ٦٠سم) لتعمل كهامة للرأس البحري.

** يمكن عمل الهامة من الخرسانة المسلحة وكذلك الشدادات.



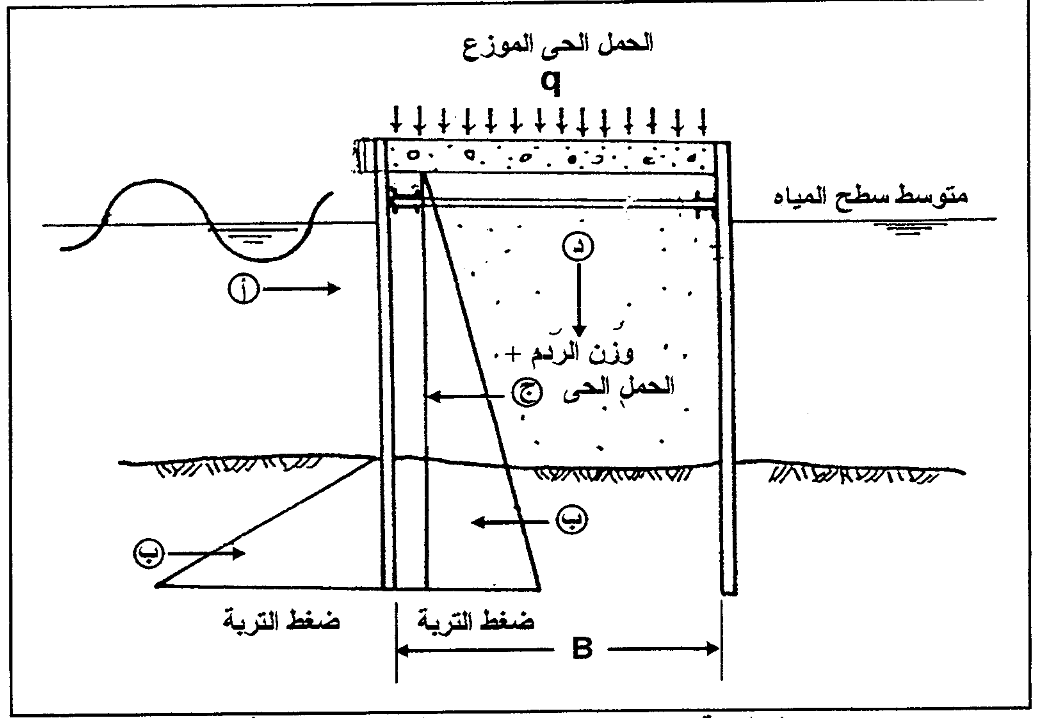
شكل رقم (٤-٢٩) رأس بحرى من صفين من الستائر اللوحية

٤-٦-٤-٢ تصميم المنشأ

٤-٦-٤-٢-١ القوى المؤثرة فى التصميم

يوضح الشكل (٤-٣٠) تلك القوى الخاصة بالتصميم وهي كما يلي:-

أ) ضغط الأمواج.
ب) ضغط التربة من الداخل والخارج.
ج) الحمل الحي المتحرك.
د) الوزن الذاتي للردم داخل صفي الستائر.



شكل رقم (٤-٣٠) القوى المؤثرة على المنشأ

٤-٦-٤-٢-٢ تحديد أبعاد المنشأ

أ) ارتفاع الحائط عن سطح البحر:-

يكون الارتفاع فوق سطح المياه كافيا بما يسمح بإنشاء الحائط من البر وبحد أدنى يتراوح بين ٧٠-٨٠ سم فوق منسوب المياه العالية. أما فى حالة مقاومة الركوب الموجي Overtopping فيحسب الارتفاع طبقا للركوب المسموح به.

ب) عرض الحائط :-

يحدد عرض الحائط "B" (المسافة ما بين صفى الستائر) من حساب اتزان المنشأ ومقاومته للانزلاق وللانقلاب كما هو موضح بالشكل (٤-٣١).

(١) **مقاومة الانزلاق:-**

* أهم القوى المسببة للانزلاق هي قوى الأمواج F_w.
* القوى المقاومة للانزلاق هي:-

- ضغط التربة المقاوم الخارجي E_p وهو يهمل عادة لزيادة الأمان نظرا لاحتمال تأثره بالنحر.
- قوى الاحتكاك (μw).

حيث:-

w : وزن الردم ما بين صفى الستائر + وزن الهامة + وزن الأحمال الحية الدائمة (إن وجدت).

μ : معامل الاحتكاك بين قاع الرأس البحرية وسطح تربة الأساس.

ولسلامة الاتزان يكون معامل الأمان (F. S.) لا يقل عن ١,٣ .

$$F.S. = (E_p + \mu w)/F_w \geq 1.30 \qquad (4\text{-}59)$$

(٢) مقاومة الانقلاب:-

* عزوم القوى التي تسبب الانقلاب($M_{O.T}$) :-

$$M_{o.T} = F_W . h_1 \qquad (4\text{-}60)$$

حيث h_1 هو ارتفاع نقطة تأثير قوى الأمواج عن قاع المنشأ.

* عزوم القوى التى تقاوم الانقلاب:-

$$M_R = (w . B/2) + E_P . h_2 \qquad (4\text{-}61)$$

حيث :

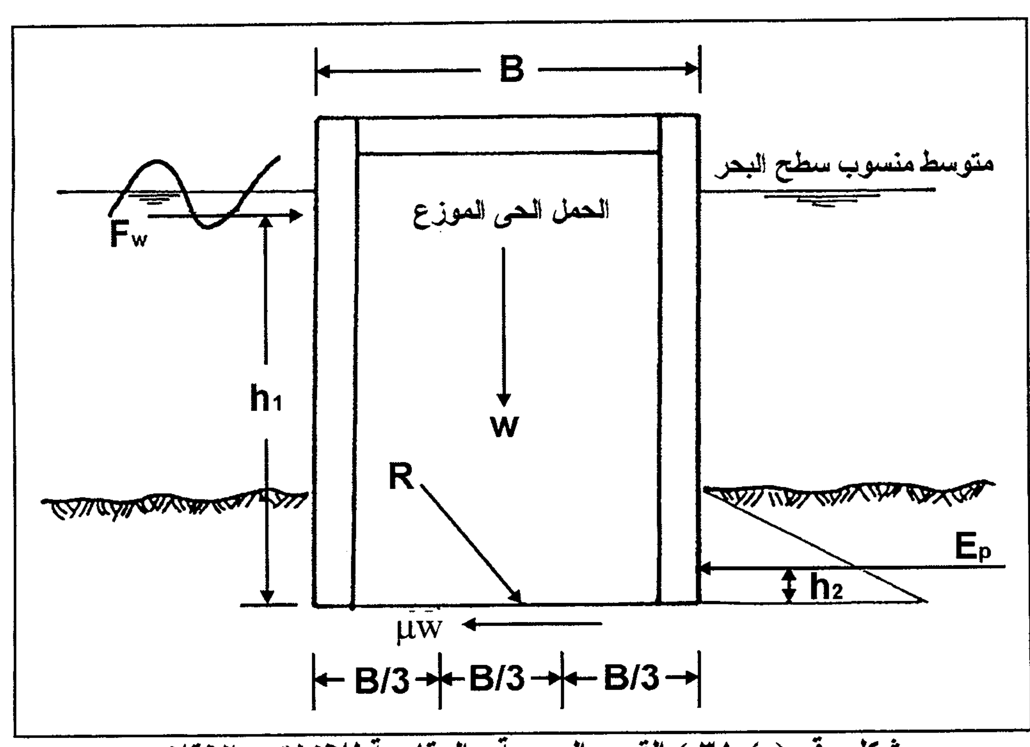
B : عرض المنشأ.

h_2 : ارتفاع نقطة تأثير الضغط الخارجى المعاكس للتربة عن قاع المنشأ.

ولسلامة المنشأ ضد الانقلاب يكون معامل الأمان .F. S أكبر أو يساوى ١,٣ كما هو بالمعادلة التالية :

$$F.S. = M_R/M_{O.T} = ((w. B/2) + E_p . h_2)/(F_w . h_1) \geq 1.3 \qquad (4\text{-}62)$$

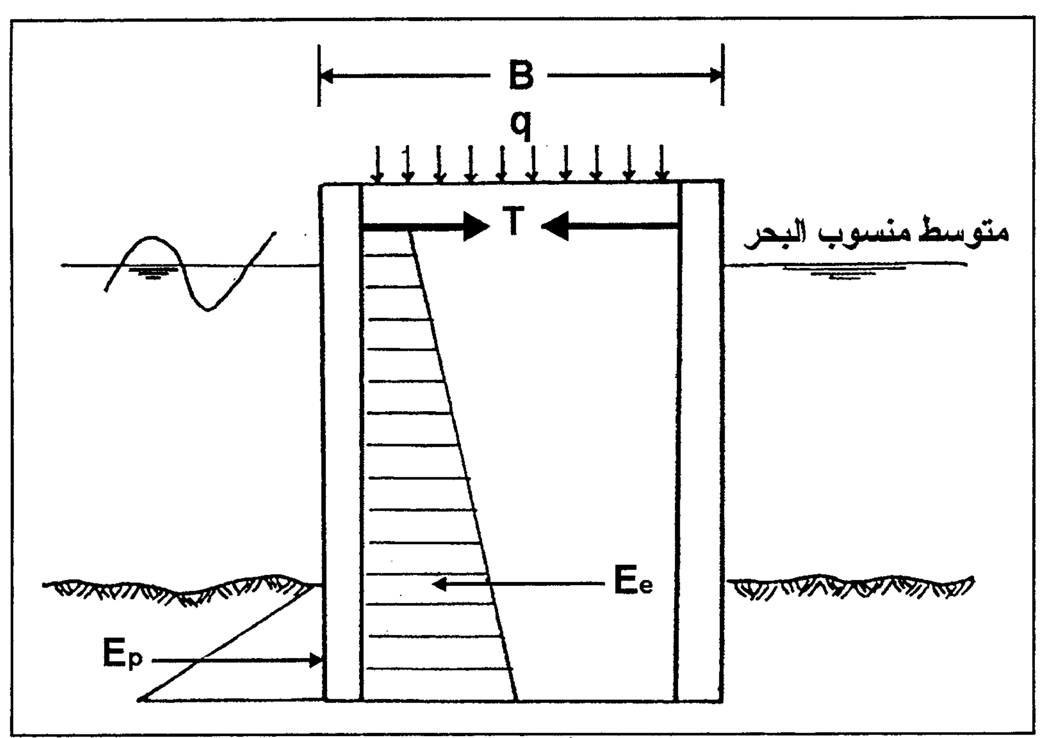
مع مراعاة أن يكون تأثير محصلة القوى المؤثرة على المنشأ (R) يقع فى الثلث الأوسط للقاعدة، [شكل رقم (٤-٣١)].



شكل رقم (٤-٣١) القوى المسببة والمقاومة للإنزلاق والإنقلاب

ج) طول الستائر وقطاعها:-
يحدد طول الستائر وقطاعها وكذلك قطر الشدادات والمسافة بينهما من حساب مقاومة المنشأ لضغط التربة من الداخل شكل (٤-٣٢) مع مراعاة الآتي:-

١ - إهمال ضغط الأمواج الخارجية فى مقاومة الضغط من الداخل.
٢ - تأثير النحر المتوقع فى خفض منسوب سطح الأرض الخارجي - وبالتالى فى تقليل مقاومة ضغط التربة الخارجى E_p.
٣ - تستخدم الطرق المعروفة فى تصميم الستائر اللوحية المكونة للحائط.



شكل رقم (٤-٣٢) القوى المأخوذة فى تحديد طول الستائر وقطاعها

٤-٦-٥ الحوائط البحرية

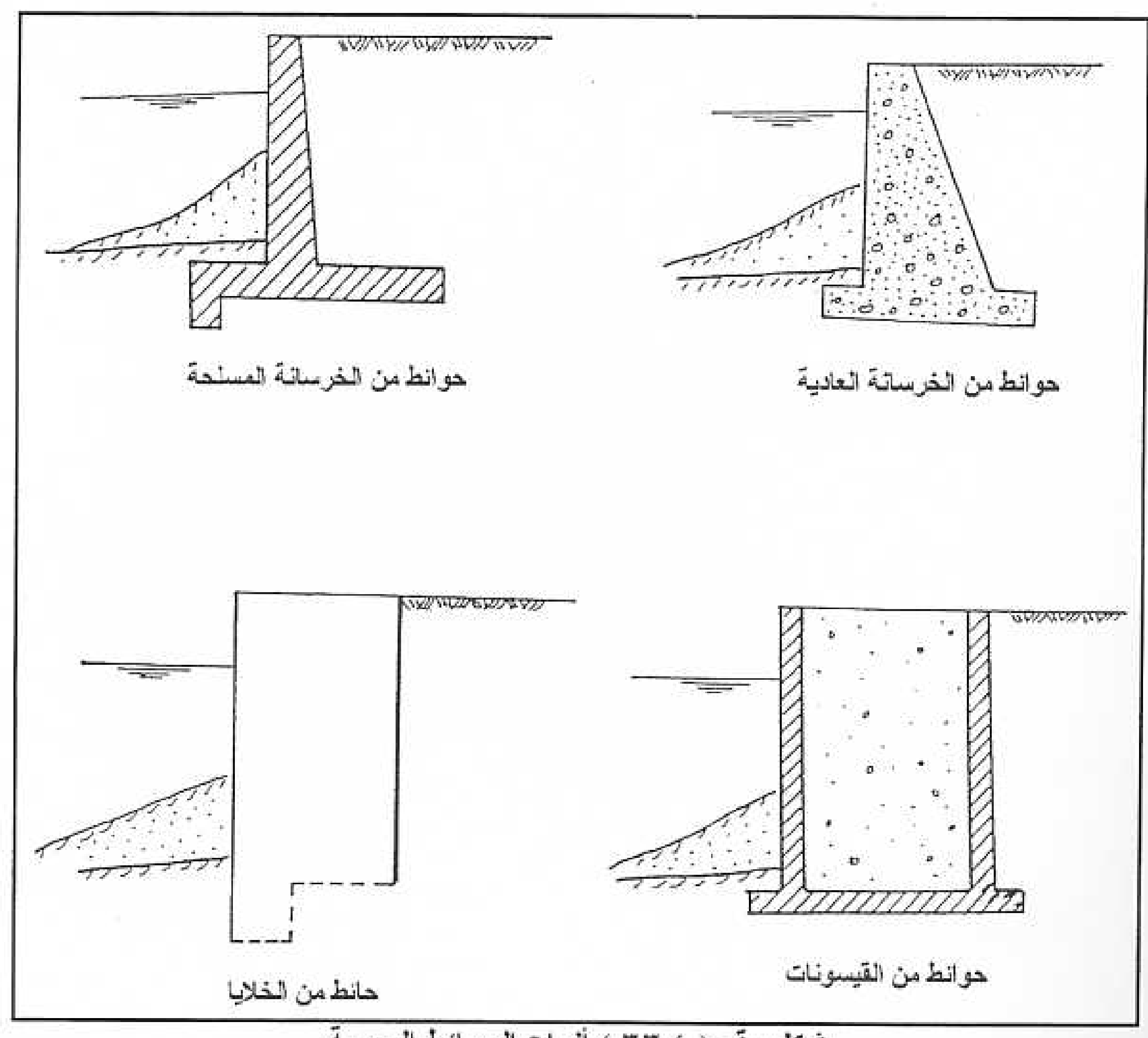
٤-٦-٥-١ أنواع الحوائط البحرية
يوضح الشكل (٤-٣٣) أنواع الحوائط البحرية وهي ما يلي:-

١ - حوائط خرسانية عادية ذاتية الاتزان.
٢ - حوائط خرسانية مسلحة كابولية.
٣ - حوائط من القيسونات الخرسانية.
٤ - حوائط من الخلايا الدائرية.

ويتحكم فى اختيار نوع الحائط البحري العوامل الآتية:-

(١) طبيعة تربة التأسيس.
(٢) ارتفاع الحائط.

(٣) توفر مواد الإنشاء فى منطقة الموقع.
(٤) توفر معدات الإنشاء.
(٥) الفترة الزمنية المطلوبة للإنشاء.
(٦) العمر الافتراضي للمنشأ المطلوب.



شكل رقم (٤-٣٣) أنواع الحوائط البحرية

٤-٦-٥-٢ تصميم الحوائط البحرية الخرسانية

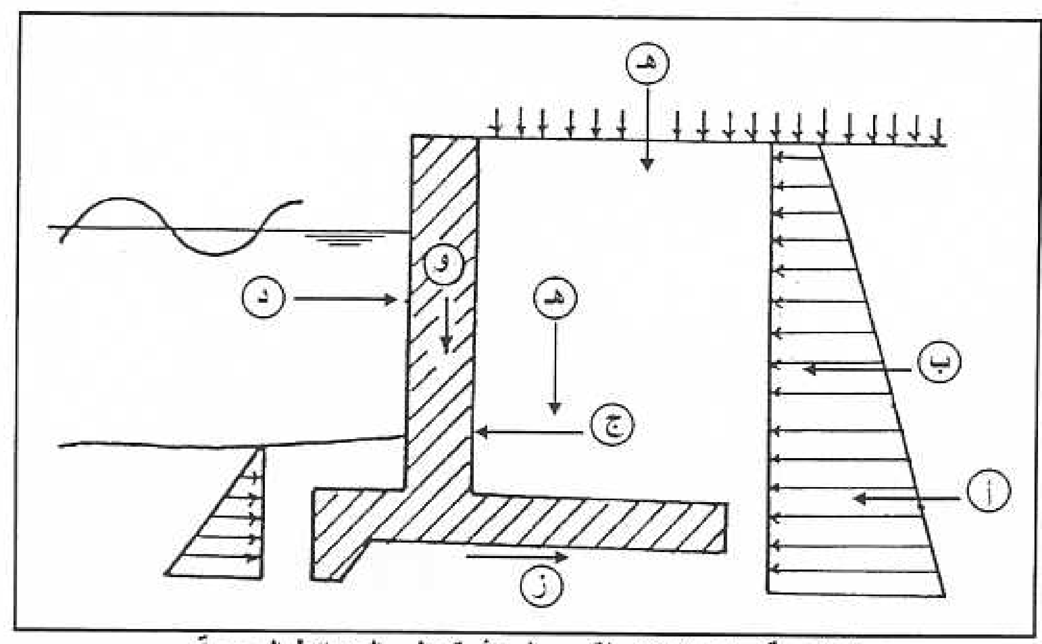
٤-٦-٥-٢-١ القوى المؤثرة على الحوائط البحرية

يوضح الشكل (٤-٣٤) القوى المؤثرة على تلك المنشآت، وهي كما يلي:-

أ) ضغط التربة خلف الحائط البحري.
ب) ضغط الأحمال الحية بنوعيها الأحمال الموزعة و الأحمال المركزة.
ج) قوى الزلازل ويرجع إلى الكود المصري للزلازل لتعيين هذه القوى والتى يدخل فى حسابها : موقع المنشأ - درجة شدة الزلزال الخاص بالتصميم - ارتفاع المنشأ وأهميته.
د) القوى التي تؤثر على المنشأ من واجهة البحر مثل الأمواج وغيرها.

هـ) الأحمال الرأسية الناتجة عن الوزن الذاتي للمنشأ والأوزان الناتجة من أعمال الردم والأحمال الحية.

ز) قوى الاحتكاك وهي تتولد عند تعرض المنشأ للحركة وتعتمد هذه القوى على الحمل الرأسي الواقع على سطح التأسيس وعلى معامل الاحتكاك بين قاع المنشأ وسطح طبقة التأسيس.



شكل رقم (٤-٣٤) القوى المؤثرة على الحوائط البحرية

٤-٦-٥-٢-٢ تحديد أبعاد المنشأ

*** تحديد الارتفاع الكلي للحائط:-**

وهو يعتمد على عمق الأساس الذى يتوقف على منسوب التربة الصالحة للتأسيس من جهة وعلى عمق قاع البحر أمام الحائط و مدى تعرضه للنحر، فكلما زاد عمق الأساس كلما طالت دورات صيانة إعادة التأهيل. وعادة يزود الأساس بقدمه لرفع مقاومة المنشأ للنحر.

ويفضل ألا يقل عمق التأسيس عن ١,٥ متر تحت مستوى قاع البحر أو الأرض الطبيعية في موقع الإنشاء.

*** تعيين أبعاد القطاع:-**

يعتمد ذلك على ضمان اتزان المنشأ تحت تأثير القوى المؤثرة عليه والسابق توضيحها، مع مراعاة الآتي:-

- إهمال تأثير ضغط التربة المقاوم على الحائط من الأمام بفرض حدوث نحر مستقبلا حتى منسوب التأسيس.
- إهمال تأثير قوى الأمواج عند حساب اتزان المنشأ وتؤخذ فى الاعتبار فى حساب الاتزان أثناء التنفيذ قبل استكمال أعمال الردم الخلفي.
- الحمل الحي يؤخذ فى الاعتبار أو لا يؤخذ لعدم دوامه وذلك حسب قواعد التصميم.

ولتحديد أبعاد المنشأ التصميمية يتم فرض هذه الأبعاد أولا ثم يراجع عليها (Checking) من حسابات الاتزان - أي مقاومة المنشأ للانزلاق وللانقلاب - وسلامته أثناء التعويم والمناولة وسلامة تأسيسه ومقاومته للانزلاق مع تحقيق معامل الأمان المطلوب فى جميع تلك الحالات. لذلك تتم أعمال التصميم بإجراء العمليات الحسابية التالية:-

(أ) مقاومة التزحلق Sliding Resistance:-

$$F.S. = F/H \qquad (4\text{-}63)$$

حيث:-

H : محصلة جميع القوى الأفقية المؤثرة (الدائمة).
F : قوى الاحتكاك $=\mu N$.
μ : معامل الاحتكاك بين مستوى قاع الأساس وسطح التأسيس.
N : محصلة جميع القوى الرأسية (الدائمة).
F. S. : معامل الأمان = ١,٣ أو = ١,١ (فى حالة أخذ قوى الزلازل في الحسبان).

(ب) مقاومة الانقلاب (Overturning):-

$$F.S. = M_r / M_o \qquad (4\text{-}64)$$

حيث:-

M_o : عزوم جميع القوى التى تساعد على انقلاب المنشأ.
M_r : عزوم جميع القوى التى تقاوم الانقلاب.
F. S. : معامل الأمان $\geq$ ١,٣.

(ج) الإجهادات على طبقة الأساس:-

يحدد الجهد الواقع على تربة الأساس باستخدام المعادلة الآتية:-

$$\sigma_{1,2}=(N/B)\,(1\pm 6e/B) \qquad (4\text{-}65)$$

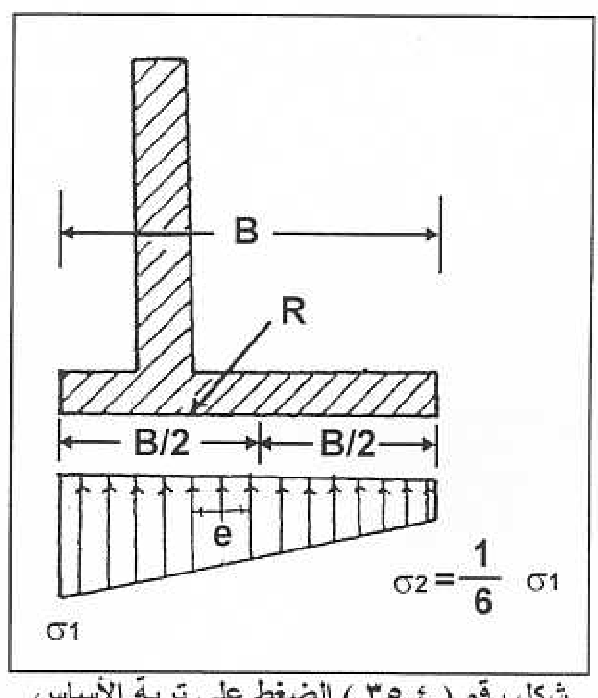
حيث :

$\sigma_{1,2}$: الجهد الأدنى والأقصى الواقع على التربة.
B : عرض الأساس.
N : محصلة القوى الرأسية على الأساس.
e : بعد محصلة القوى الأفقية والرأسية عن المركز الهندسى للقاعدة.

ويراعى أن يحقق الجهد الناتج من الحسابات الآتي:-

- الجهد الأعلى (ضغط) لا يزيد عن قدرة تحمل طبقة الأساس المسموح بها.
- ألا يقل الجهد الأدنى (ضغط) على التربة عن حوالى ٦/١ (سدس) الجهد الأقصى - (حتى لا يسمح بانفصال الأساس عن سطح طبقة التأسيس) ، راجع شكل (٤-٣٥).

* **ملحوظة :** في حالة وجود تربة ضعيفة لا تتحمل جهود المنشأ فإنه قد يمكن التغلب على ذلك المحدد بعمل طبقة من الإحلال - ويرجع إلى الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات في هذا الصدد.



شكل رقم (٤-٣٥) الضغط على تربة الأساس

(د) مقاومة التعويم Floatation Resistance:-

F. S. = (N' / U) (4-66)

حيث:-

N' : جميع الأوزان الرأسية المؤثرة على المنشأ أثناء التنفيذ وقبل الردم.

U : قوى التعويم (Uplift) = حجم الماء المزاح بواسطة الجزء الغاطس من المنشأ × كثافة المياه.

F. S. : معامل الأمان = ١,١.

(هـ) إجهاد المنشأ أثناء المناولة Handling induced stresses:-

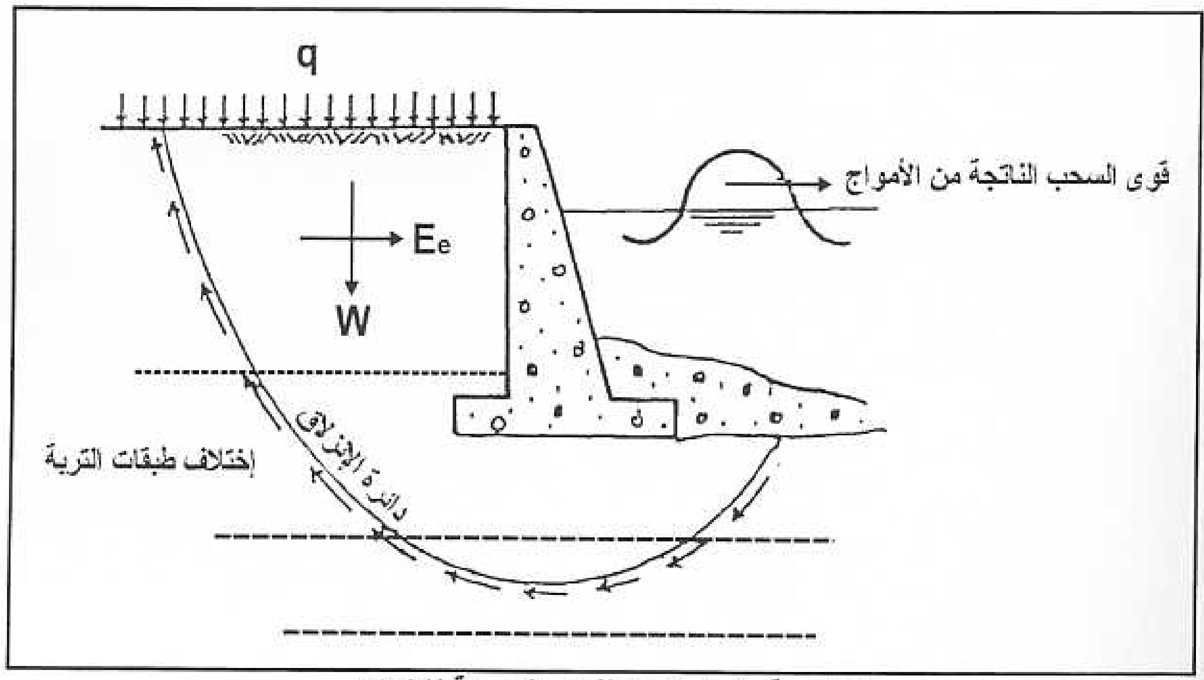
يتم تصميم المنشأ مثل المنشآت سابقة التجهيز ليقاوم تأثير القوى التى يتعرض لها أثناء مناولته سواء في موقع تصنيعه أو في نقله أو من كيفية إنزاله.

(و) مقاومة الانزلاق Slipping Resistance:-

قد تتعرض الحوائط الساندة للانزلاق نتيجة ضعف إحدى طبقات التربة المقامة عليها مما يعرضها للانهيار الكامل. لذلك يتم تصميمها لتقاوم الانزلاق تحت تأثير القوى المبينة بالشكل رقم (٤-٣٦). كما يؤخذ في الاعتبار عند التصميم ما يلي:-

- يتم حساب جميع محصلة القوى الرأسية والأفقية التي من شأنها تعريض المنشأ للانزلاق سواء بصفة دائمة أو مؤقتة.
- يهمل حساب القوى المؤقتة التي تقاوم الاتزان مثل - أوزان مواد أعمال الحماية التي توضع أمام الحائط حيث أنها معرضة للنحر.
- تؤخذ في الاعتبار قوى السحب الناتجة من الأمواج (وليس قوى الضغط).
- تحسب القوى الناتجة من تحرك المياه من خلف الحائط إلى الأمام (إن وجدت).
- بعد حساب القوى المؤثرة على الحائط والتى تمثل أسوأ الحالات التي من شأنها تعريض الحائط للانزلاق وبعد التعرف على خواص طبقات التربة تستخدم إحدى الطرق المتعارف عليها فى حساب مقاومة الانزلاق.
- يعتبر المنشأ آمنا من حيث الانزلاق إذا زاد معامل الأمان عن ١,٣.

وفى حالة عدم قدرة المنشأ لمقاومة الانزلاق بكفاءة يتم تحميل المنشأ على خوازيق أو تقوية طبقات التربة الضعيفة بعمل خوازيق رملية بها أو اتباع أي من طرق التدعيم الأخرى.



شكل رقم (٤-٣٦) القوى المسببة للإنزلاق

٤-٦-٦ الحوائط البحرية المقامة على خوازيق

٤-٦-٦-١ متطلبات التصميم

هذا النوع من الحوائط لا يختلف عن سابقه من حيث تصميم جسم الحائط ولكنه يختلف من حيث تصميم أساس (قاعدة) الحائط.

يستخدم هذا الطراز من الحماية فى المواقع الآتية :

(١) فى حالة التربة ذات الجهد الضعيف مما يتطلب تحميل جسم الحماية على خوازيق (بدلا من التربة مباشرة) وخاصة للحوائط ذات الإرتفاع العالى.

(٢) فى حالة تعرض منطقة الحماية لنحر كبير ، الأمر الذى يتطلب تحميل حائط الحماية على خوازيق شكل (٤-٣٧) حتى نضمن ثباتها فى حالة نحر التربة أسفلها إلى حين القيام بأعمال الصيانة والتى تتم عادة بالردم بمواد رملية أو حجرية لتعويض النحر الذى يحدث.
(٣) فى حالة الحاجة إلى تدعيم الحائط لمقاومة الانزلاق To resist slipping.

٤-٦-٦-٢ تحديد القوى المؤثرة على المنشأ

وهي تشمل ما يلي:-
- قوى الأمواج.
- قوى ضغط التربة الخلفي بما فى ذلك الأحمال الثابتة والمتحركة.
- قوى ناتجة عن فرق ضغط المياه.
- الوزن الذاتي للمنشأ.
- قوى التيارات المائية.

٤-٦-٦-٣ تصميم قطاع المنشأ

٤-٦-٦-٣-١ تصميم جسم الحائط

تتم جميع الخطوات السابق شرحها فى الحوائط الساندة العادية.

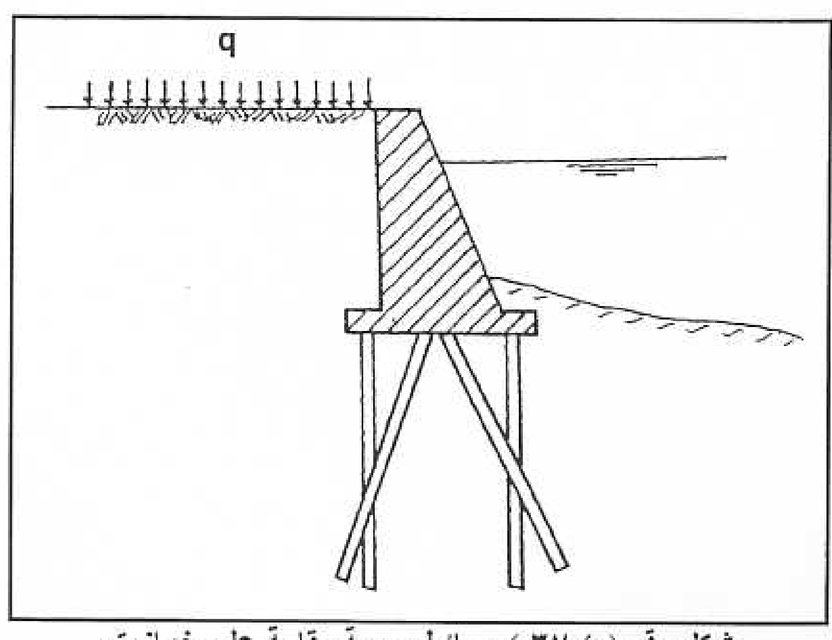
٤-٦-٦-٣-٢ تصميم الأساس (الخوازيق)

يتبع الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات فى هذا الصدد.

٤-٦-٧ الحوائط البحرية من الستائر اللوحية

٤-٦-٧-١ أنواع الحوائط البحرية من الستائر اللوحية

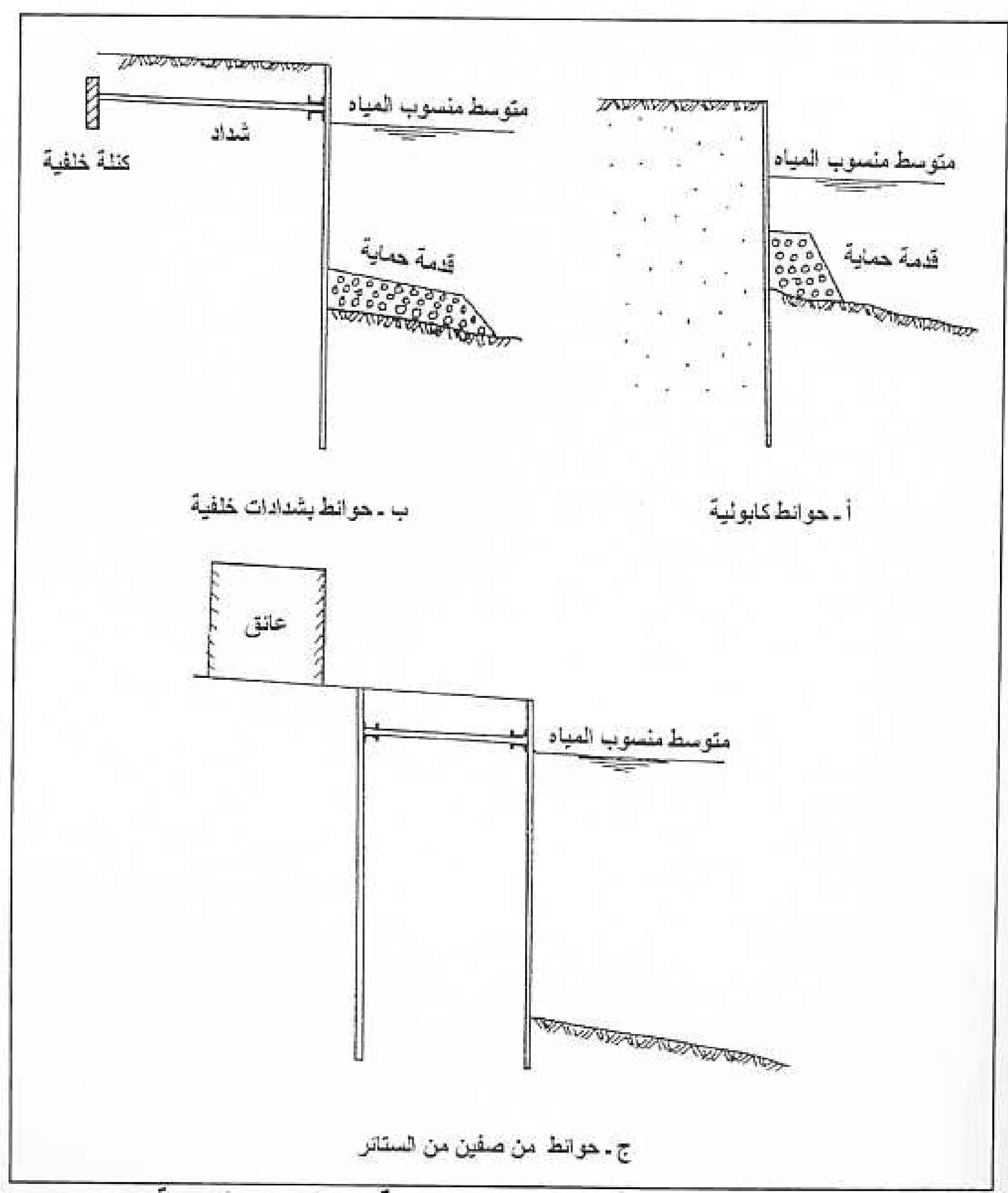
يعطي الشكل (٤-٣٨) بيانا بأنواع تلك الحوائط وهي على النحو التالي:-



شكل رقم (٤-٣٧) حوائط بحرية مقامة على خوازيق

(أ) حوائط كابولية:-
تستخدم فى حالة إنشـاء الحـائط فى مياه ضحلة و فى حالة إذا كانت القوى الخلفية الأفقية صغيرة شكل (٤-٣٨أ).

(ب) حوائط بشدادات خلفية:-
وهي تستخدم فى حالة إنشاء الحائط فى مياه عميقة وفى حالة إذا كانت القوى الخلفية الأفقية عالية - شكل (٤-٣٨ب).



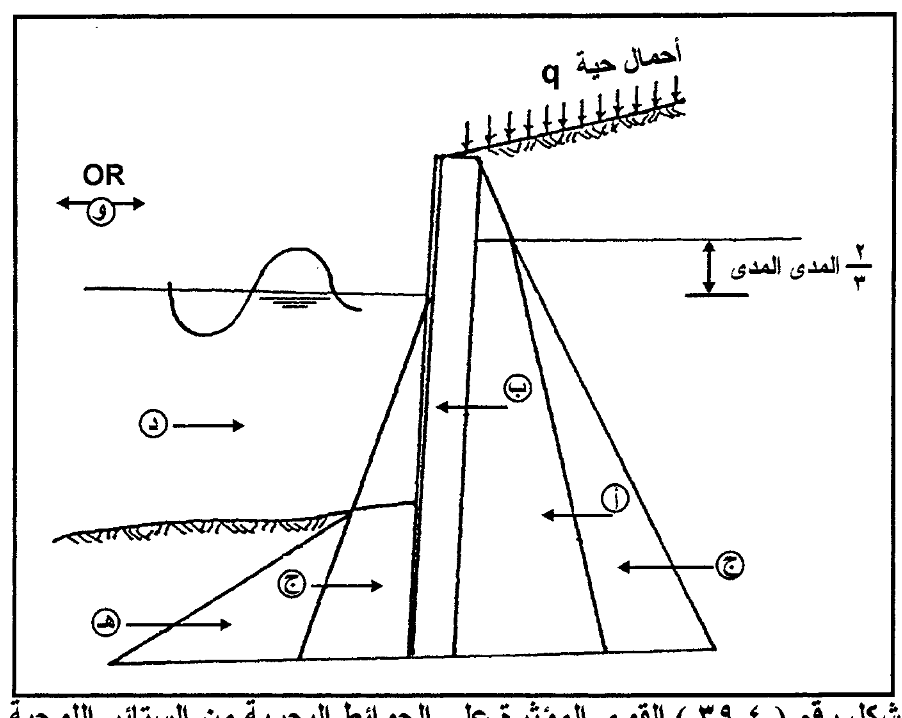
شكل رقم (٤-٣٨) أنواع الحوائط البحرية من الستائر البحرية

(جـ) حوائط من صفين من الستائر:-
وهذه تستخدم فى حالات الحوائط التي تتطلب شدادات ولكن يوجد عائق على الأرض يمنع تنفيذ الشدادات بالطول الآمن شكل (٤-٣٨حـ).

٤-٦-٧-٢ القوى المؤثرة على الحوائط البحرية من الستائر اللوحية

يوضح الشكل (٤-٣٩) تلك القوى وهي على النحو التالي:-

أ - قوى ضغط التربة الفعال الأفقي خلف الحائط.
ب - قوى الضغط الأفقي الخلفي الناتج عن الأحمال الحية الواقعة فوق سطح الردم الخلفي.
جـ - قوى ضغط المياه من الخلف والأمام.
د - قوى الأمواج.
هـ - قوى ضغط التربة المقاوم أمام الحائط.
و - أى قوى خارجية أخرى تعمل على الحائط.



شكل رقم (٤-٣٩) القوى المؤثرة على الحوائط البحرية من الستائر اللوحية

٤-٦-٧-٣ تصميم قطاع الستائر و الشدادات

الغرض من التصميم هو تحديد أبعاد ومواصفات عناصر المنشأ وهى:-

١) طول الستائر الأمامية ومواصفات قطاعها.
٢) طول الشدادات والمسافات البينية ونوعها وقطرها.
٣) طول الستائر الخلفية ومواصفات قطاعها.

٤-٦-٧-٤ تصميم الستائر

يتم تصميم حائط الستائر بإحدى الطريقتين التاليتين وفقا لمتطلبات استخدام الحائط وهما:-

١) حائط ذو ارتكاز حر فى نهايته Free end support، يسمح بدوران طرف الحائط السفلي.
٢) حائط ثابت فى النهاية Fixed end support، لا يسمح بدوران طرف الحائط السفلي.

ويرجع إلى "الكود المصري لميكانيكا التربة وتصميم وتنفيذ الأساسات" في تصميم الستائر.

الباب الخامس
منشآت حماية الشواطئ وصيانتها

٥-١ منشآت حماية الشواطئ

٥-١-١ حواجز الأمواج الكوميـــة

٥-١-١-١ طرق إنشاء الحواجز الكوميـــة

يتم إنشاء الحواجز الكومية بطريقتين إما من البر أو من البحر.

٥-١-١-١-١ الإنشاء من البـــر

ا) المعدات المستخدمة فى التنفيـــذ:

تستخدم سيارات النقل القلاب الخلفي لإنشاء نواة الحاجز وتستخدم الأوناش الأرضية أو البحرية لإنشاء طبقات الحماية •

ب) طريقة التنفيـــذ:

يراعى عند تنفيذ الحاجز ما يلي :-

* أن يكون المنسوب العلوي للنواة أعلى من متوسط أعلى منسوب للمياه " **M.H.W.L.**" بما لا يقل عن ٥٠ سم، وذلك لضمان استمرارية حركة سيارات النقل والأونـاش الأرضـية المستخدمة فى رص كتل الحماية دون أن تتأثر بتغيير منسوب سطح البحر.

* ألا يقل عرض هامة النواة عن ٤,٠٠ متر (عرض حارة المرور) وذلك فى الحـواجز القصيرة الطول (الرؤوس البحرية)، وعادة تكون أطوالها فى حدود ١٥٠ متر. حيث تسير السيارات فى حارة واحدة للأمام والخلف • أما فى حالة الحواجز الأكثر طولا ، فيجب أن لا يقل عرض قمة النـواة عن ٦,٠٠ متـر لإتاحـة الفرصـة لتحـرك الأونـاش جنبـا إلـى جنـب مـع حركـة السـيارات المسـتخدمة فى نقل الكتل مع عمـل منـاطق دوران على مسافات مناسبة تستخدم لتغيير اتجاه السـيارات والمناورة، وعلـى أن تنشـأ هذه المنـاطق فـى الجهـة الداخـليـة للحـاجز **"Lee Side"**.

٥-١-١-١-٢ الإنشاء من البحر

(أ) المعدات المستخدمة في التنفيذ:

تستخدم الصالات المجهزة بأبواب فى القاع أو الصالات ذات الأسطح المتحركة فى إنشاء النواة وتستخدم الأوناش البحرية العائمة فى رص الكتل وفى بعض الأحيان تستخدم بنتونات كبيره مثبت عليها أوناش أرضيه ذات أذرع طويلة وذلك كبديل للأوناش البحرية العائمة. ويشترط أن تكون هذه المعدات مناسبة للعمل فى البحر المكشوف، وعلى أن يراعى عند تصميم الحواجز التي تنفذ بهذه الطريقة ما يلي:-

* أن تسمح الأعماق الطبيعية للموقع بحركة الصـالات وخاصـة تلك المزودة بـأبواب بالقـاع حيث يؤخذ فى الحسبان اكبر غاطس للصال فى حالـة تحميله بالإضـافة إلـى المسافة الرأسية المطلوبـة أسفل قاع الصال لفتح الأبواب وكذلك الارتفاع التصميمي للنواة بموقع إلقاء الأحجار.
* أن يزود موقع العمل أو موقع قريب منه برصيف تشغيل لتحميل الصال بالمواد.

(ب) طريقة التنفيذ:-

* تنقل المواد اللازمة لإنشاء عناصر الحواجز وتشون كل على حده فى مساحات قريبه من رصيف التشغيل الذي قد ينشأ لهذا الغرض. ثم تحمّل المواد فى الصالات بواسطة أوناش أرضية وتسحب الصالات المحملة إلى موقع العمل بواسطة قاطرات يمكنها العمل فى البحر المكشوف، وقد تكون الصالات ذاتية الحركة. وفى حالة الصالات ذات الأسطح المتحركة يتم تفريغ المواد بإمالة السطح بزاوية أكبر من زاوية الاحتكاك الداخلي للمواد حينئذ تفقد المواد اتزانها وتندفع إلى اسفل من على السطح المائل للصال مكونه جسم النواة. ويراعى عند تنفيذ الخطوات السابقة ما يلي :-

* رصد الصالات من البر لضمان إلقاء الأحجار فى مسار الحاجز التصميمي.
* عمل جسات على فترات للتأكد من تمام تنفيذ القطاعات التصميمية على النحو السليم.

* في حالة تكوين وإنشاء طبقات الحماية بواسطة ونش عائم أو بواسطة ونش أرضى مثبت على بنتون فيتم نقل الكتل إلى الموقع بواسطة الصالات. وعند نهو تنفيذ طبقات الحماية يتم إنشاء الهامة وذلك بصب الخرسانة ابتداء بمنطقة رأس الحاجز ثم يستمر الصب فى اتجاه الشاطئ.

* عند تنفيذ الحواجز الغير متصلة بالشاطئ أو المتقطعة **Detached Breakwaters** يراعى أن يكون اتجاه التنفيذ فى وحدات الحواجز مع الاتجاه السائد للأمواج بالموقع.

٥-١-١-٢ أعمال ضبط الجودة لمكونات الحاجز

٥-١-١-٢-١ الأحجـــار

يتم عمل الاختبارات المعملية على عينات الأحجار الموردة للموقع للتأكد من مطابقتها للمواصفات التصميمية وتشمل اختبار تعيين نسب تدرج الأحجار ، الوزن النوعي ، درجة الصلابة ، درجة الامتصاص ، المكونات الكيمائية ذات التفاعل مع ماء البحر.

كما يتم عمل اختبارات على الأوزان المختلفة الموردة بأخذ عينات من الأحجار ذات الوزن المماثل لما هو وارد فى التصميم ومضاهاة الأحجار الموردة للموقع بهذه العينات.

٥-١-١-٢-٢ المرشـــح

يتم عمل اختبارات التدرج الحبيبي لمكونات المرشح وكذلك التأكد من سمك الطبقات بواسطة عمل جسات قبل وبعد فرش المرشح وذلك لضمان كفاءة عمل المرشح كمنفذ للمياه دون السماح بمرور حبيبات التربة - كما يجب عمل اختبار لمقاومة التمزق فى حالة استخدام المرشح من القماش الصناعي (جيو تكستيل **Geo-textile**).

٥-١-١-٢-٣ أعمال الخرسانة

عمل اختبارات دوريه على الخرسانة التي يجرى صبها فى الموقع وذلك بأخذ عينات (عدد ٦) عينه على الأقل لكل (١٠٠ متر مكعب خرسانة) لإجراء اختبارات مقاومة الكسر للخرسانة المتصلدة بعد ٧ ، ٢٨ يوم ، وعمل اختبارات علي المواد المكونة لها مثل السن والزلط والرمل والأسمنت و كذلك مياه الخلط طبقا للمواصفات القياسية الخاصة بأعمال الخرسانة.

٥-١-١-٢-٤ القطاعات التصميمية

يتم التحقق من تنفيذ قطاعات الحاجز التصميمية بعمل جسات دوريه مع تقدم العمل وبعد تنفيذ كل عنصر من عناصر الحاجز (المرشح ، النواة ، طبقات الحماية الرئيسية)، ولا يبدأ فى تنفيذ المرحلة التالية إلا بعد التأكد من سلامة تنفيذ المرحلة السابقة لها من واقع هذه الجسات. مع مراعاة النقاط التالية:-

* بالنسبة لكتل طبقة الحماية - وخاصة الكتل الصناعية - فيتم التأكد من صحيح إلقائها أو رصها ومراجعة عددها طبقا للتصميم لكل طبقة.

* فى حالة الحواجز الطويلة والتي قد يحتاج تنفيذها إلى سنوات يتم دوريا مع تقدم العمل إجراء جسات ابتدائية لقاع البحر فى المسار التصميمي للحاجز للتأكد من مطابقة الأعماق عند التنفيذ مع الأعماق المأخوذة فى التصميم لنفس موقع القطاع وفى حالة زيادة أو نقصان الأعماق عن الأعماق التصميمية بمقادير تتجاوز المسموح به **(Tolerance Values)** فيجب مراجعة التصميم وعمل التعديلات الملائمة للوضع الجديد.

٥-١-١-٢-٥ كتل الحمايـــة

يلزم إجراء اختبارات على كتل الحماية الموردة بصورة منتظمة للتأكد من مطابقتها للمواصفات التصميمية وخلوها من العيوب الظاهرية مثل الشروخ. أما عند استخدام الكتل الصناعية الخرسانية فيجب مراجعة مقاساتها وجودة تصنيعها وأوزانها وذلك بوزن الكتل بعد تصنيعها بواقع ٢ كتله (من كل نوع) لكل ١٠٠ كتله - كما يجب إعطاء العناية التامة للكتل الصناعية ذات النتوءات (الرقاب) والتأكد من خلوها من الشروخ والعيوب الناتجة عن الصب أو التكهفات (التعشيش).

٥-١-١-٢-٦ إنشاء الهامة

يجب التأكد من سلامة تنفيذ طبقات الحاجز اسفل الهامة بعمل ميزانية عليها قبل صب الهامة. ويراعى تنفيذها بالسمك التصميمي لها حتى ولو أدى ذلك الى ارتفاع المنسوب العلوي لها. كما تراعى على وجه الخصوص النقاط التالية:-

* العناية بعمل فواصل صريحة فى الاتجاهين أثناء صب الهامة.

* يراعى ضرورة ملء الفراغات السطحية لطبقة الحماية الواقعة أسفل الهامة مباشرة بالأحجار المناسبة وهرسها جيدا وذلك قبل صب خرسانة الهامة.

* يتم تنفيذ الهامة بعد نهو الحاجز بالكامل والتأكد من استقرار مكوناته ويفضل تنفيذها بعد عام كامل من نهو الحاجز لضمان تمام تدعيم طبقات الحاجز تحتها تجنبا لحدوث شروخ للهامة ناتجة عن الهبوط الغير متجانس لمكونات الحاجز.

* يبدأ بتنفيذ الهامة من موقع رأس الحاجز ثم تستمر عملية صبها فى اتجاه الشاطئ.

٥-١-٢ الحواجز الحائطية المشكلة من القيسونات

٥-١-٢-١ ساحات تصنيع القيسونات

يتم تصنيع القيسونات في واحدة من ساحتي الصب التالي بيانهما:-

٥-١-٢-١-١ الأرصفة

يشترط لذلك أن يتحمل الرصيف الأحمال المركزة الناتجة عن صب عدد مناسب من القيسونات فى وقت واحد وأن تكون مساحة الصب تسمح بصبها دفعه واحدة لتقليل تكاليف الرفع من على الرصيف.

٥-١-٢-١-٢ الأحواض العائمة أو الجافة

يراعى عند استخدامها إمكانية بناء ونهو عدد مناسب من القيسونات في الحوض دفعة واحدة قبل نقلها أو تعويمها، ويتميز الحوض العائم عن غيره من ساحات التصنيع الأخرى بإمكانية سحب الحوض وبداخله القيسونات بعد بنائها إلى موقع التنزيل.

٥-١-٢-٢ معدات تصنيع ونقل ورص القيسونات

٥-١-٢-٢-١ معدات الرفع

وهي تقوم برفع القيسون من ساحة التصنيع وتحميله على الوحدات البحرية التي سوف تنقله إلى موقع التنزيل أو تقوم برفعه وتنزيله إلى الماء ، وعادة تستخدم فى تلك الأعمال الأوناش العائمة ذات قدرات الرفع العالية التي تتراوح ما بين ٥٠٠ طن و ٢٠٠٠ طن أو اكثر (وهى الأوناش التي تستخدم عادة فى أعمال الإنقاذ البحري).

٥-١-٢-٢-٢ معدات نقل القيسون إلى موقع التنزيل

عادة ينقل القيسون إلى موقع استخدامه بإحدى الوسائل التالية:-

* سحب القيسون مباشرة بواسطة قاطرة، وفي هذه الحالة يصمم القيسون أيضا ليكون قادرا بالقيام بدور الوحدة البحرية العائمة.

* سحب الونش العائم الرافع للقيسون بواسطة قاطرة وفى هذه الحالة يتم تنزيل القيسون جزئيا فى الماء لتخفيف وزنه أثناء عملية السحب.

* سحب الوحدة العائمة (البنتون ذات السطح) المحمل فوقها القيسون بواسطة قاطرة بحرية إلى موقع التنزيل.

وفى جميع الحالات يتطلب الأمر التأكد من اتزان القيسون سواء عند سحبه عائما بالقاطرات أو مرفوعا بواسطة الأوناش العائمة.

٥-١-٢-٣ الشدّات المستخدمة فى تصنيع القيسونات

٥-١-٢-٣-١ الشدّات التقليدية

يراعى أن تكون أسطح الشدّات نظيفة مع دهانها بمادة تمنع التصاق الخرسانة بها عند فكها، وتطبق اشتراطات الكود المصري عند صب الخرسانة داخل الشدات.

٥-١-٢-٣-٢ الشدّات المنزلقة

تسمح هذه الشدات باستمرارية الصب وتقليل فواصل الصب فى المنشأ ويراعى عند تصميمها الا يتجاوز معدل انزلاقها إلى أعلى الزمن اللازم لتصلد الخرسانة، وعادة يستخدم لتقليل تلك الفترة بعض الإضافات الكيماوية عند خلط الخرسانة ويراعى أن يتم ذلك طبقا للاشتراطات الخاصة بتنفيذ المنشآت الخرسانية المضمنة بالكود المصري الساري.

٥-١-٢-٤ معالجة خرسانة القيسونات

٥-١-٢-٤-١ المعالجة بالمياه العذبة

تستخدم المياه العذبة فى معالجة خرسانة القيسونات أثناء تصلبها وذلك إما برشها على الخرسانة مباشرة على فترات أو بتغطية الخرسانة بخيش يبلل بالمياه.

٥-١-٢-٤-٢ المعالجة بالمواد الكيماوية

ينصح عادة باستخدام المواد الكيمائية في عملية معالجة الخرسانة فى المناطق التي تشح فيها المياه العذبة، ولتحديد كيفية استخدامها يرجع إلى دليل الشركات المنتجة لهذه المواد وإلى الكود المصري الساري لوضع شروط استخدامها والتي يجب أن تتوافق مع كليهما.

٥-١-٢-٥ إنشاء الحواجز المكونة من القيسونات

٥-١-٢-٥-١ إنشاء فرشه من الأحجار

يتم عمل الفرشة بالأبعاد وبالمواصفات التصميمية وذلك بعد نقل الأحجار بواسطة صالات ذات أبواب سفلية أو أسطح متحركة على المحور الأفقي أو ذات أسطح أفقية مع الاستعانة بمعدات لدفع الأحجار ثم يتولى الغطاسون أعمال التسوية.

٥-١-٢-٥-٢ وضع القيسونات في أماكنها

يجري ذلك وفقا للمراحل التالية:-

* يتم تحديد موقع القيسون بوضع شمندورات في المياه لتعيين محاور التنزيل ومتابعة الرصد من البر.
* يعقب ذلك عملية تنزيل القيسون وذلك بملء القيسون بالمياه عن طريق الطلمبات أو بفتح بلوف تكون مركبة في القيسون أثناء الصب أو يتم التنزيل باستخدام أوناش الدفع العائمة، ويراعى ألا يزيد معدل الغوص عن ٢٠ سم/دقيقة.

* ثم يؤكد ضبط موقع القيسون وذلك برصد محاوره من البر، وفي حالة حدوث ترحيل عن مكان القيسون يتم سحب المياه منه لإعادة تعويمه بفارق ٥ سم أعلى سطح الفرشة ثم يعاد ضبطه وتغويصه ثانية.

٥-١-٢-٥-٣ ملء القيسونات

* يملأ القيسون إما بناتج التكريك أو بالرمال أو بمنتجات المحاجر. ففي الحالة الأولى يتم إلقاء ناتج التكريك مباشرة داخل القيسون بواسطة كراكة، أما في حالة استخدام الرمال أو منتجات المحاجر فتنقل المواد المستخدمة إلى الموقع بواسطة الصنادل ويستعمل كبّاش عائم لتفريغها

* في حالة ملء القيسون بالرمال يراعى أن يتم ذلك تدريجيا و ببطء وأن توضع الرمال في منتصف القيسون حتى لا يتعرض القيسون للميل، كما يراعى ضرورة دمك الرمال دمكاً ديناميكيا مع مراعاة عدم تعريض حوائط القيسون للتلف بواسطة معدات الدمك. كذلك يراعى عند صب الهامة عمل فواصل صريحة لضمان عدم حدوث شروخ بها فى حالة حدوث هبوط غير منتظم بعد ملء القيسون مع ضرورة عمل فاصل صريح بين كل قيسون والذي يليه.

٥-١-٣ الحواجز الحائطية المشكلة من الكتل الخرسانية

٥-١-٣-١ تصنيع الكتل الخرسانية

لتصنيع الكتل الخرسانية يلزم تجهيز ساحة للصب تكون بأبعاد كافيه لتستوعب عمليات صب وتشوين الكتل. ويتم تصنيع الكتل بصب الخرسانة فى فرم حديدية جاسئة، وتكون عادة مقواة حتى لا تتبعج تحت تأثير الضغوط الجانبية للخرسانة الطازجة. ويلزم تنظيف الفرم جيدا عند إعادة استخدامها وذلك باستخدام فرش من السلك ودهانها بمادة عازلة تمنع التصاق الخرسانة بها أثناء الصب مع مراعاة دمك الخرسانة جيدا أثناء الصب. كما يفضل فرش أبسطه من البولي إثيلين فوق أرضية الصب لمنع التصاق الكتل بها. ويراعى أن يتم إجراء اختبارات ضبط الجودة بصورة دورية على المواد الداخلة فى صناعة الخرسانة وعلى المنتج الخرساني النهائي كذلك التأكد من نسب خلط المواد، وذلك جميعه طبقا لاشتراطات الكود المصري.

٥-١-٣-٢ رفع ونقل الكتل الخرسانية

يتم فك الشدات الخاصة بصب الكتل ذات الارتفاعات والمقاسات المختلفة، كما يتم بعد ذلك معالجة الكتل بموقع الصب لمده زمنية كافية طبقا لاشتراطات الكود المصري . وعادة لا تقل فترة المعالجة عن ١٥ يوما. بعد المعالجة يتم رفع الكتل إما لتنزيلها ورصها بالحاجز أو لتشوينها لإخلاء ساحة الصب. ومن المعلوم أنه يمكن تقليل فترة المعالجة بساحة الصب باستعمال الإضافات الكيماوية للخلطة من شأنها الإسراع فى تصلد الخرسانة واكتسابها لقوتها فى وقت اقل، إلا أنه من المحتم أن يتم اختيار وتحديد نسبة هذه الإضافات بما يتلاءم واشتراطات كلا من الشركة المصنعة لتلك الكيماويات والكود المصري. ٠

٥-١-٣-٣ تجهيز الفرشة أسفل الكتل الخرسانية

تنفذ الفرشة من الدبش اسفل الحائط وفقا للخطوات الآتية:-

أ - يتم الحفر حتى منسوب التأسيس التصميمي مع مراعاة ألا يقل سمك الفرشة في جميع الأحوال عن ٥٠ سم.

ب - فرش الأحجار طبقا للأبعاد والمناسيب والميول الواردة فى التصميمات بواسطة الغطاسين.

ج - يراعى فرش طبقه من كسر الأحجار في الجزء العلوي من الفرشة لتعمل كوسادة أسفل الكتل الخرسانية ولتسهيل تسوية سطحها العلوي ولملأ الفراغات السطحية بين الأحجار.

٥-١-٣-٤ تنزيل ورص الكتل الخرسانية

يتم تنزيل الكتل الخرسانية بواسطة الأوناش ويجري رصها تحت سطح المياه في أماكنها بواسطة الغطاسين. وهناك أسلوبين مرادفين لإنجاز هذه الخطوة هما كما يلي:-

٥-١-٣-٤-١ تنزيل الكتل الخرسانية من البر

تستخدم فى ذلك الأوناش الأرضية. وعادة يكون التنفيذ بهذا الأسلوب أيسر من مرادفه، إلا أن استخدام هذه الطريقة يحكمها ملاءمة مواصفات الونش المستخدم للتصميم وأهمها طول ذراع التحميل للونش وعلاقته بوزن الكتل المطلوب رفعها ثم إنزالها في الموقع المخصص لها وبعد هذا الموقع عن موضع تشغيل الونش.

٥-١-٣-٤-٢ تنزيل الكتل الخرسانية من البحر

تستخدم في هذه الحالة الأوناش البحرية. حيث تقوم برفع الكتل من مواقع تصنيعها أو من أماكن تخزينها وتحميلها على الصالات البحرية ثم تقوم بتنزيل الكتل منها إلى أماكن وضعها بالحاجز. ومن ثم يجب مراعاة أن يكون موقع العمل يسمح بحركة وبمناورات الوحدات العائمة المشاركة في هذه العملية من حيث الغاطس والمساحة المائية.

٥-١-٣-٥ قدمة الحماية

نظرا لأن القدمة هي من أهم أجزاء المنشأ المؤثرة على استقراره، لذلك يجب العناية بتنفيذها، ويتمثل ذلك فى الآتي :-

* ضرورة فرش طبقة مرشح أسفل القدمة لمقاومة النحر أسفلها.

* العناية بفرش ورص طبقة الأحجار المكونة لجسم القدمة.

٥-١-٣-٦ إنشاء الهامة أو تتويجة الحائط

يتم صب الهامة أو تتويجة الحائط بعد الردم خلف الحائط مع الدمك جيدا حسب اشتراطات الكود المصري الخاصة بذلك. كما تنفذ فواصل إنشائية بالهامة تتوافق مع الفواصل الموجودة بين أجزاء الحائط **(Panels)** المكونة لجسم الحاجز. كما يفضل صب الهامة بعد التأكد من ثبات الحائط وتوقف هبوطه **(Settlement)**.

٥-١-٤ حوائط الحماية البحرية

يمكن إنشاء حوائط الحماية البحرية من الكتل الخرسانية أو القيسونات السابق شرحها فى إنشاء حواجز الأمواج إلى جانب استخدام المنشآت المذكورة فيما بعد.

٥-١-٤-١ التكسيات

٥-١-٤-١-١ إنشاء جسم التكسية

فى حالة إنشاء التكسيات التي تقع أعلى من منسوب الأرض الطبيعية فبطبيعة الحال يلزم إنشاء جسم التكسية أولا ويكون ذلك بتكوين جسر بأعمال الردم سواء كان الردم بالرمال أو بالأحجار أو بخليط من الاثنين معا. وعادة يتم تكوين جسم الجسر بفرش المواد المكونة له على طبقات بحيث لا يزيد سمك الطبقة عن ٥٠ سم مع دمك كل طبقه دمكاً ديناميكيا بواسطة الهراسات الهزازة مع الرش بالمياه طبقا للتصميم واشتراطات الكود المصري الخاص بهذه الأعمال. فإذا كان منسوب الأرض الطبيعية يسمح بإنشاء أعمال الحماية ففي هذه الحالة يتم تشكيل الميول طبقا للتصميم، ومن المفضل ألا تتجاوز الميول انحدار(٣ : ٢). ثم يجرى تهذيب للميول ودمك سطحها جيدا باستعمال مندالات خشبية مع الرش بالمياه للعمل على ثبات الطبقة السطحية ولتلاشي انهيارها عند البناء عليها.

٥-١-٤-١-٢ إنشاء طبقه المرشح

(أ) المرشح التقليـدي:-

هذا المرشح يتكون من الرمال أو الزلط أو كسر الأحجار أو خليط منهم ويحدد تدرجه ونسب مكوناته وعدد طبقاته طبقا لطبيعة التربة المطلوب حمايتها وحسب التصميم. وتفرش طبقات المرشح بالسمك المحدد فى التصميم لكل طبقه على حده ابتداء من الجزء الأفقي للحماية (أسفل القدمة) ثم الميل من أسفل إلى أعلى.

(ب) المرشح المكون من الأقمشة الصناعية (Geotextile):-

يتم فرش لفائف هذه الأقمشة الصناعية على كامل الميل دفعة واحدة ، ويفضل عدم وجود وصلات فيها في اتجاه الميل، ويجرى تثبيتها أعلى الميل (قمة التكسية) وذلك بربطها فى أوتاد أو بوضع أحجار أو أثقال مناسبة على أطرافها على مسافات مناسبة. ويراعى في الوصلات أن يكون عرض التداخل ما بين نهايات الأقمشة المفروشة لا يقل عن ٢٥ سم.

(ج) المرشح المكون من خليط الرمال و البيتومين:-

يتم تجهيز خلطة المرشح من الرمال و البيتومين حسب التصميم والذي يأخذ في الاعتبار موقع المرشح من كونه أعلى أو اسفل سطح المياه. ثم يتم نقلها وفرش طبقه المرشح بالسمك المطلوب بدءا من أسفل الميل إلى أعلاه. ويجرى تحديد سمك الطبقة عن طريق إنشاء "جبارية" توضع على الميل وبالارتفاع الوارد فى التصميم ويتم دمك وتسوية السطح النهائي للمرشح بالدق بواسطة لوح خشبي (قده).

٥-١-٤-١-٣ إنشاء مباني التكسية

تنشأ مباني التكسية بأي من الأنواع الثلاثة التالي بيانها :-

(١) مباني التكسية بالدبش والمونة الأسمنتية:-

بعد مطابقة الأحجار الموردة للبناء مع المواصفات التصميمية من حيث الوزن والصلابة والوزن الحجمي والامتصاص والتفاعل مع المياه المالحة...إلخ يتم البناء بدءا بإنشاء القدمة السفلي ثم الميل من أسفل إلى أعلى. مع مراعاة أن تملأ الفواصل بين الأحجار بعضها البعض وأسفلها بالمونة جيدا وبكامل سمك المباني. ولتحقيق ذلك بالطبيعة تفرش طبقه المونة أولا ثم ترص عليها الأحجار مع ضرورة ترك فاصل ١ سم صريح بين الأحجار وبعضها البعض ليتم ملؤه بالمونة.

(٢) مباني التكسية بالدبش والمونة البيتومينية:-

* يتم الإنشاء من أحجار ذات أحجام كبيره ويفضل ألا تكون متدرجة لضمان وجود فراغات بينها عند الرص.

* ترص الأحجار على الناشف مع مراعاة ترك فواصل بين الأحجار. وعلى أن يتم البناء من أسفل إلى أعلى.

* بعد نهو المباني بكامل سمكها وبكامل مسطح القطاع يتم ملء الفواصل بالمونة البيتومينية وذلك بفرشها من على السطح ثم جعلها تتخلل الفواصل بين كتل الدبش حتى تملأ جميع الفراغات البينية في كامل القطاع.

* يراعى أن يتم خلط المونة طبقا للمواصفات التصميمية وأن تورد إلى الموقع فى حالة ساخنة لضمان سيولتها وتخللها لكامل أعماق الفواصل وفي جميع الفراغات البينية.

* يلزم مقدما تحديد كميه المونة المطلوبة للمتر المسطح من مباني التكسية وذلك بعمل تجارب بالموقع و بمعلومية سمكها لضبط أعمال التنفيذ وعادة تتراوح نسبة حجم المونة إلى حجم التكسية ما بين ٣٠ % إلى ٣٥%.

(٣) مبانى التكسية من كتل (بلاطات) خرسانية:-

يتم إنشاء التكسية من كتل (بلاطات) خرسانية بإحدى الطريقتين التاليتين:-

(أ) تصب البلاطات الخرسانية مباشرة بموقعها على الميل مع ترك فواصل كافية بين البلاطات. ثم تملأ تلك الفواصل بالمونة الأسمنتية أو البيتومينية "وعادة تفضل الأخيرة".

(ب) ترص البلاطات السابقة التجهيز على الميل مع ترك فواصل بينها ثم تملأ الفواصل كما توضح بالبند السابق.

٤-١-٤-١-٥ عمل الكحلة للعراميس

يتم تنفيذ الكحلة على النحو الآتي:-

* قبل تصلد المونة " أي بعد نحو أربعة ساعات من إضافة الماء إلى الأسمنت " يجرى تفريغ المونة التي على السطح بين العراميس إلى عمق ٣ إلى ٥ سم.

* تجهز مونة الكحلة من الرمل السليسي المهزوز بنسبة ٤٠٠ كجم أسمنت للمتر المكعب من الرمل.

* يتم ملء الفواصل المفرغة ملئا تاما مع الغزغزة بواسطة سيخ حديد مع تسوية سطح الكحلة مع سطح الدبش وذلك فى حالة عمل كحله مستوية على السطح وفى حالة عمل كحله غاطسه فيتم ملء الفواصل حتى عمق ١ سم فقط اسفل سطح التكسية، أما فى حالة عمل كحله بارزه فيتم جعل المونة ظاهره وبارزه عن السطح بحوالي ١ سم (غير مفضلة).

* يراعى رش التكسيات بعد إنشائها بالمياه لفترة لا تقل عن ١٥ يوم من إنشائها لضمان تصلدها بدرجة مناسبة مع عدم تشققها.

٥-١-٤-٢ التكسية المسامية

٥-١-٤-٢-١ إنشاء جسم التكسية

تتم طبقا للبند (٥-١-٤-١-١).

٥-١-٤-٢-٢ إنشاء طبقة المرشح

تتم طبقا للبند (٥-١-٤-١-٢).

٥-١-٤-٢-٣ إنشاء مباني التكسية

(١) التكسية بالدبش (على الناشف)

* يتم إنشاؤها برص الدبش بالأوزان والمواصفات الواردة فى التصميم وبالسمك المبين بالرسومات التصميمية.
* يتم رص الدبش ابتداء من القدمة السفلى ويستمر من أسفل إلى أعلى.
* يراعى عدم ملء الفراغات البينية بين وحدات الدبش (العراميس) بالمواد الناعمة.

(٢) التكسية باستعمال أبسطة الجابيون

ويتم إنشاؤها بإحدى الطريقتين التاليتين:-

(أ) رص الأبسطة بمواقع إنشاءها:-

* يتم تجهيز الأبسطة بالمقاسات والسمك الوارد فى التصميم.
* يتم رص الأبسطة بمواقع إنشائها على المرشح على كامل مسطح التكسية فى اتجاه الميل.
* يتم ربط الأبسطة ببعضها البعض فى الاتجاهين وذلك بنفس نوع المادة المصنعة منها الأبسطة.
* يتم ملء الأبسطة بواسطة الأحجار المتدرجة مع مراعاة ألا يقل مقاس أصغر وحده من الأحجار عن مقاس فتحة البساط - لضمان عدم هروب الأحجار من فتحات الأبسطة.
* يراعى أن يتم ملء الأبسطة بالأحجار ملأ تاما وبطريقه تضمن وجود أقل حجم للفراغات بين الأحجار لضمان عدم تحرك الأحجار داخل الأبسطة تحت تأثير حركة المياه خلال الأحجار.
* يتم تركيب الأغطية وربطها بالأبسطة بالسلك مع شد الغطاء ليكون ضاغطا على الأحجار داخل الأبسطة.

(ب) رص الأبسطة السابق تجهيزها:-

* تستخدم فى هذه الحالة صالات ذات أسطح قابله للحركة على محور أفقي.
* يتم تجهيز الأبسطة على أسطح هذه الصالات وهى فى وضعها الأفقي مثل ما ذكر فى الفقرة السابقة (أ).
* يتم سحب الصالات إلى مواقع تنزيل الأبسطة.
* يتم تثبيت الصال فى الموقع ثم يتم تمييل سطح الصال حتى ينـزلق البساط ويستقر على الأرض فى موقع إنشائه.

* يتم ربط الأبسطة بعد رصها بواسطة الغطاسين.

٥-١-٤-٣ إنشاء حائط بحري من الخرسانة المسلحة

٥-١-٤-٣-١ إنشاء الحائط بصب الخرسانة بمواقع إنشائها

* يتم تجهيز الفرشة من الأحجار المتدرجة بالمقاسات والمناسيب طبقا للتصميم.
* يتم إنشاء الحوائط مع ضرورة عمل فواصل.
* يراعى ألا يقل الغطاء الخرساني على حديد التسليح عن ٧ سم.
* يتم إنشاء الهامة بعد استكمال أعمال الردم خلف الحائط وحدوث هبوط بجسم الحائط - ويفضل تحميل الحائط قبل بناء الهامة للإسراع بحدوث الهبوط.

٥-١-٤-٣-٢ إنشاء الحائط بوحدات سابقة التجهيز

* يفضل استخدام هذا النوع فى حالة إنشاء الحائط اسفل سطح المياه.
* يتم إنشاء الفرشة طبقا للمقاسات والمناسيب التصميمية بواسطة الغطاسين.
* يتم اختيار أوزان الوحدات الجاهزة علي ضوء قوة الرفع للأوناش المتاحة للتنفيذ.
* يتم إنشاء الهامة بعد الردم خلف الحائط وحدوث الهبوط ويفضل تحميل الحائط للإسراع فى حدوث الهبوط.

٥-١-٤-٤ إنشاء السدود الشاطئية

٥-١-٤-٤-١ تجهيز منسوب التأسيس

يتم تجهيز منسوب التأسيس طبقا للتصميم كالآتي :-

* في حالة الحفر يراعى أن يكون عرض قاع أورنيك الحفر عند منسوب التأسيس اكبر من عرض الأساس بمسافة كافيه و ألا يزيد الانحدار عن ٢ : ١ جهة البحر وعن ٣ : ٢ جهة البر وذلك حتى لا يتعرض خندق التأسيس للردم أثناء الإنشاء، ولا يجوز أن تسبق أعمال الحفر أعمال إنشاء الأساس بمسافة كبيرة بل تتم أولا بأول مع تقدم العمل فى إنشاء الأساس.

* في حالة الإنشاء فوق سطح الأرض يراعى حفر الطبقة السطحية المخلخلة ثم فرش طبقه الأساس بالمقاسات والمناسيب الواردة فى التصميم.

٥-١-٤-٤-٢ إنشاء المرشح

* يتم فرش المرشح على الأرض مباشرة بعد حفر خندق الأساس ، وفي حالة الإنشاء فوق سطح الأرض فيتم فرش المرشح بعد حفر وإزالة الطبقة السطحية المفككة وبعد تسوية سطح الحفر.

* في حالة استخدام مرشح من القماش الصناعي يتم فرد القماش وتثبيته فى القاع على مسافات مناسبة لضمان عدم تحركه عند وضع الأحجار أو بأي طريقة أخري مناسبة.

* فى حالة استخدام المرشح التقليدي المكون من الأحجار يتم فرش طبقات المرشح كل على حده.

* تتم جميع الأعمال تحت سطح المياه بواسطة غطاسين.

٥-١-٤-٤-٣ إنشاء جسم السد

* يتم إنشاء جسم السد إما بالرمال أو بالأحجار أو بخليط منهما.

* يتم تكوين جسم السد بفرش المواد على طبقات مع دمكها حتى الوصول إلي منسوب قمة الجسر، مع مراعاة تشكيل الميول التصميمية أثناء تكوين الجسر وقبل إنشاء الحماية.

* يفضل أن تتبع أعمال الحماية أعمال إنشاء جسم السد مباشرة وألا تتقدم أعمال إنشاء الجسم أعمال إنشاء الحماية ما يتجاوز ٣٠ إلى ٥٠ متر ومع تعويض أيّة كميات من مواد البناء يتم نحرها أو تجريفها بواسطة الأمواج قبل فرش الحماية.

٥-١-٤-٤-٤ إنشاء الحماية

* يتم إنشاء الحماية أمام السد بإحدى الطرق الآتية :-

أ) إنشاء طبقه من الكتل الطبيعية أو الصناعية أو الاثنين معا.
ب) إنشاء طبقه من الأحجار المسقاة بالمونة البيتومينية.
جـ) إنشاء طبقه من الخرسانة الاسفلتية.

* في حالة إنشاء الحماية من الكتل الطبيعية أو الصناعية أو الاثنين معا تراعى الملحوظات السابقة المعطاة فى أ ، ب ، جـ.

* فى حالة إنشاء الحماية من الأحجار المسقاة أو المحقونة بمونة بيتومينية يتم رص طبقة الحماية من الأحجار على الناشف ويتم تسويتها على المناسيب التصميمية بواسطة غطاسين ثم تفرش المونة الاسفلتية (البيتومينية) ويراعى ضرورة استخدام المعدات المخصصة لتنفيذ هذه الأعمال التي تضمن أن تكون الخلطة البيتومينية عند وصولها إلى موقع العمل وفي أثناء فرشها وتخللها بين الأحجار فى حالة سائلة.

* يمكن التأكد من تغلغل المونة لطبقة الأحجار بعمل الاختبار التالي:-

يوضع صندوق على الأرض مباشرة ويتم رص الأحجار به مثلما تم لأحجار الحماية ثم يتم فرش المونة، بعدئذ يستخرج الصندوق ويتم فحص الأحجار ومنه تحدد نسبة المونة المطلوبة وصلاحية الأسلوب المستخدم وكذلك كفاءة التنفيذ.

* في حالة إنشاء الحماية من الخرسانة الاسفلتية - وهي تستخدم عادة عندما يكون جسم السد مكون من الرمال - يتبع الآتي :-

* يتم فرش طبقة الحماية بالسمك وبالميول الواردة فى التصميم.

* يتم فرش الطبقة من أسفل إلى أعلى.

* يراعى أن يتم الفرش والخلطة فى حالة ساخنة.

٢ـ٥ أعمال الصيانة

١ـ٢ـ٥ أسباب حدوث التلفيات

١ـ١ـ٢ـ٥ تعرض المنشأ لقوى أمواج أعلى من القوى التصميمية

في حالة تعرض المنشأ لقوى أمواج أعلي من القوى التصميمية فيكون وزن الكتل المستخدمة لحماية المنشأ أقل من تلك المطلوبة لمقاومة مثل هذه القوى ومن ثم تحدث إزاحة وتفكك لكتل الحماية الرئيسية يتبعها انهيار للطبقات المكونة لباقي أجزاء المنشأ.

٢ـ١ـ٢ـ٥ زيادة الفيض الموجي (Overtopping)

في حالة تكرار حدوث الأمواج التي تفوق الموجة التصميمية وكذلك فى حالة زيادة ارتفاع منسوب سطح المياه أو فى حالة حدوث كلتا الظاهرتين معا وأيضا عند هبوط منسوب الحاجز عن المنسوب التصميمي فانه ينتج عن تلك الحالات زيادة فى الفيض الموجي (ركوب الموجة) مما يؤثر بصورة مباشرة على ثبات طبقات حماية المنشأ.

٣ـ١ـ٢ـ٥ ضعف تحمل مواد الإنشاء

* في حالة تعرض مكونات الحاجز لقوى الأمواج قد يحدث كسر فى كتل الحماية ناتجا عن سوء التصنيع. وهو ما يحدث بكثرة في كتل الحماية الصناعية الضعيفة، الأمر الذي يؤدي إلى تدني تداخلها ببعضها وبالتالي يؤدي إلى عدم اتزانها وانفصالها عن المنشأ.

* فى حالة ضعف صلادة أو/ وصلابة مكونات المنشأ (سواء النواة أو الحماية الخارجية) فإن المنشأ يتعرض للتآكل السريع أو التشريخ تحت تأثير الحركة الديناميكية للأمواج.

* كما أن لتفاعل مياه البحر مع مكونات المواد المستخدمة فى الإنشاء أثر مباشر يعمل على تآكل بعضا من هذه المواد.

٤ـ١ـ٢ـ٥ ضعف طبقة التأسيس

فى حالة عدم كفاءة أبحاث التربة بموقع المنشأ فقد يتم إنشاء بعض أجزاء المنشأ على تربه ذات جهد مقاومة اقل من الجهد التصميمي مما يعرض المنشأ للهبوط فى هذا الجزء من الحاجز نتيجة لانضغاط أو لتحرك تلك الطبقات اكثر من الأجزاء الأخرى للمنشأ.

٥ـ١ـ٢ـ٥ النحر أمام وأسفل القدمة

تحدث هذه الظاهرة عادة في حالات المنشآت البحرية التالية:-

١ - الإنشاء فى أعماق أقل من المأخوذة في أعمال التصميم و هي تحدث على وجه الخصوص حالات المنشئات الحائطية الرأسية.

٢ - عدم تنفيذ المرشح المناسب من حيث تدرج مسامية مكوناته أو عدم امتداده بمسافة كافية أمام القدمة.

٥-٢-٢ طرق الصيانة

٥-٢-٢-١ المعاينات والمتابعة الدورية للمنشأ

يلزم إجراء المعاينات الحقلية في توقيتاتها ومداومة أعمال المتابعة الدورية للمنشأ وذلك لتحديد مواقع ونوع التلفيات بمجرد حدوثها ، وعلى أن تشمل أعمال المتابعة ما يلي:-

١ - معاينة ظاهرية للمنشأ لتحديد التغييرات التي قد تحدث للمنشأ نتيجة وجود كسور أو شروخ أو فجوات.

٢ - إجراء رفع مساحي لجسم المنشأ لتحديد التغييرات النسبية فى مناسيب وفي جسم المنشأ.

٣ - إجراء مسح بحري حول المنشأ لمسافة كافية لا تقل عن ٥٠ متر لتحديد التغييرات فى أعماق الأرض الطبيعية من نحر أو إطماء.

٤ - إجراء معاينة بواسطة الغطاسين أسفل منسوب سطح المياه سواء بالملاحظة أو بالتصوير لتحديد نوع وشكل التلفيات التي قد تكون موجودة ولمقارنة حالة المنشأ عند الكشف عليه عقب تنفيذه. ويتم تحديد نوع التلفيات - إن وجدت- التي تعرض لها المنشأ ودراسة أسباب حدوثها وتقييم مدى خطورة هذه التلفيات على سلامة المنشأ ومن ثم وضع برنامج ملائم للصيانة أو التدعيم.

٥-٢-٢-٢ أسلوب الصيانة

* في حالة هبوط جسم المنشأ نتيجة ضعف التربة يتم تعويض الهبوط بتعلية جسم المنشأ إلى المناسيب التصميمية مع مراعاة ألا تزيد الإجهادات الفعلية على التربة - بعد تنفيذ قطاعات التعلية - عن الإجهادات المسموح بها.

* في حالة ظهور فجوات بجسم المنشأ - نتيجة لتفكك أو لتكسر بعض كتل الحماية وتحركها بسبب سوء التنفيذ - يعاد إنشاء الجزء التالف برص كتل إضافية أو يعاد تصميم كتل التدعيم بما يتلاءم مع الوضع الجديد ومع حالة المنشأ.

* في حالة زيادة الأعماق حول المنشأ يراجع تصميم مكونات طبقات المنشأ وإن لزم الأمر فيعاد تصميمها ليلائم الوضع الجديد.

* في حالة ظهور عيوب فى قدمة المنشأ و حتى لا يحدث انهيار لميوله وتحرك للكتل المكونة له يتم الإسراع في إعادة إنشاء القدمة.

* في حالة حدوث نحر في قاع البحر أمام قدمة المنشأ – وهو ما يؤدي إلى زيادة طاقة الأمواج المهاجمة- فيتم ردم هذه المناطق حتى المنسوب الذي تم علي أساسه التصميم، وذلك باستخدام كسر الأحجار المتدرجة.

* ومن الطبيعي أن أعمال الصيانة يحكمها إلى حد بعيد كلا من:-
  أ) المعدات المتاحة لتنفيذ أعمال الصيانة.
  ب) توافر المواد اللازمة للصيانة وإمكانيات نقلها إلي موقع العمل.

REFERENCES

Goda Yoshimi, 1985. Random Seas and Design of Maritimes Structures. University of Tokyo Press Japan 1985.

Horikawa, Kiyoshi, 1978. Coastal Engineering: An Introduction to Ocean Engineering. University to Tokyo Press, Japan 1978.

Horikawa Kiyoshi, 1988. Nearshore Dynamics and Coastal Processes Predictive Models. University of Tokyo Press, Japan. 1988.

Ippen T. Arthur, 1966. Estuary and Coastline Hydrodynamics. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, London and Sydney.

Kinsman Blair, 1965. Wind Waves: their generation and propagation on the ocean surface. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1965.

Komar D. Paul, 1976. Beach Processes and Sedimentation. Prentice – Hall, Inc.,/Englewood Cliffs, N. J., 1976.

Proceedings of the International Symposium on "Ocean Wave Measurements and Analysis". New Orleans Louisiane, U.S.A. 1976.

Silvester Richard, 1975. Coastal Engineering, 1, Generation, Propagation and influence of waves. Elsevier Scientific Publication Company, Amsterdam, London, New York, 1974.

Silvester Richard, 1974. Coastal Engineering, 2, Sedimentation, estuaries, tides, effluents, and modeling. Elsevier Scientific Publication Company, Amsterdam, London New York, 1974.

Silvester Richard & Hus, R.C. John, 1993. Coastal Stablization – Innovative Concepts. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.

U.S. Amy, 1973. Shore Protection Manual. Vol.1&2. U.S. Amy, Coastal Research Center 1973.

U.S. Amy, Corps of Engineers, 1994. Coastal Groins and Nearshore Breakwaters. Technical Engineering and Design Guides as adapted from the US Army Corps of Engineers. US Army Corps of Engineers. No.6. ASCE Press 345 East 47th Street New York, 100917-2398.

Wiegel L. Robert, 1964. Oceanographic Engineering. Prentice – Hall, Inc./Englewood Cliffs, N.J., 1964.

Wood, A.M. Muir & Fleming, C.A., 1981. Coastal Hydraulics. The Macmillan Press LTD, London and Basingstoke, 1981.